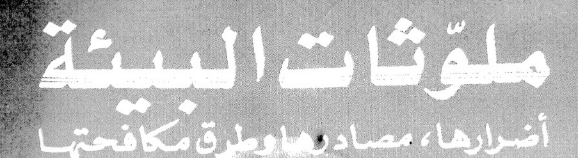


د. محمد بن ابراهيم الحسن
أستاذ الكيمياء المشارك بجامعة الملك سعود

د. ابراهيم بن صالح المعتاز
أستاذ الهندسة الكيميائية المساعد بجامعة الملك سعود

الناشر: مكتبة الخريجي

مُلوّثات البيئة

أضرارها، مصادرها وطرق مكافحتها

د. محمد بن ابراهيم الحسن
أستاذ الكيمياء المشارك بجامعة الملك سعود

د. ابراهيم بن صالح المعتاز
أستاذ الهندسة الكيميائية المساعد بجامعة الملك سعود

الطبعة الأولى
١٤٠٨هـ - ١٩٨٨م



الناشر مكتبة الخريجي
الرياض ـــ العليا ـــ شارع السلام
تلفون : ٤٦٤٤٣٨٤ / ٤٦٤٦٢٥٨
ص ب ١٧٧٣٢ الرياض ١١٤٩٤
TELEX : 404573 MKTBA S.J.



تقديم

تعني كلمة تلوث Pollution أي تغير بسبب المواد الكيميائية أو المشعة أو العوامل الطبيعية أو الحيوية الأخرى في الكفاءة الطبيعية للبيئة.

ويعتبر موضوع التلوث من المواضيع العصرية التي يزداد الإهتمام بها يوماً بعد الآخر نتيجة للإزدهار الصناعي وإزدياد عدد السكان المضطرد وما يترتب على ذلك من زيادة في عدد وسائل النقل وزيادة في كمية الملوثات السائلة والصلبة وما إلى ذلك من ملوثات البيئة.

لذلك فقد عقدنا العزم بتوفيق من الله على إعداد هذا الكتاب الموجز حول الملوثات الكيميائية والإشعاعية للهواء والماء، وكيفية مكافحة التلوث ووسائل حماية البيئة.

وقد أوضحنا ذلك في سبعة فصول. يتضمن الفصل الأول تلوث الهواء، كما يتضمن الفصل الثاني التلوث الناشيء عن وسائل النقل، والفصل الثالث عن تلوث الماء، والفصل الرابع عن التلوث الناشيء عن المخلفات البشرية السائلة والصلبة. والفصل الخامس عن التلوث الناشيء عن المبيدات كما يتضمن الفصل السادس الحروب وأثرها في التلوث، وأخيراً يعطي الفصل السابع فكرة عن التلوث الإشعاعي. ويحتوي كل فصل على دراسة موجزة عن تلك الملوثات وخطورتها وطرق مكافحتها وحماية البيئة منها.

هذا وقد رأينا إختصار بعض المواضيع والإسهاب في مواضيع أخرى وذلك حسب أهمية الموضوع في نظرنا.

وأخيراً نرجو من الله أن نكون قد وفقنا في إخراج هذا الكتاب بالصورة المنشودة

كما نتمنى أن يحوز على رضا القاريء مع ترحيبنا بآراء ومقترحات الأخوة الزملاء التي تعمل على تطوير هذا الكتاب، مع الشكر سلفاً لأي انتقاد بناء. والله من وراء القصد.

المؤلفان

١٤٠٨هـ/١٩٨٨م

المحتويات

(١) الفصل الأول

ملوثات الهــواء

(٢) الفصل الثاني

الملوثات الناتجة من عوادم السيارات

(٣) الفصل الثالـث

ملوثات الماء وكيفية الحصول على ماء الشرب

(٤) الفصل الرابــع

التلوث الناشيء عن المخلفات السائلة والصلبة

(٥) الفصل الخامس
المبيدات وأثرها على تلوث البيئة

(٦) الفصل السادس
الحروب وأثرها على التلوث

الفصل السابع
تلوث البيئة بالمواد المشعة

١ الفصل الأول
ملوثات الهواء

١ ــ ١ مقدمــة.

يتكون الهواء الجاف من النيتروجين بنسبة ٧٨٫٠٩٪ حجماً والأكسجين بنسبة ٢٠٫٩٥٪ حجماً وغاز ثاني أكسيد الكربون والغازات الخاملة بنسبة تقل عن ١٪ حجماً.

الأكسجين ضروري للاشتعال ويتحول إثر ذلك إلى ثاني أكسيد الكربون كما ان الكائنات الحية تستهلك الأكسجين وتكون ثاني أكسيد الكربون، ومع ذلك فإن نسبة الأكسجين إلى ثاني أكسيد الكربون ثابتتان وسبب ذلك هو استهلاك ثاني أكسيد الكربون في عملية البناء الضوئي للنباتات التي تولد الأكسجين أثناء هذه العملية، كما أن ثاني أكسيد الكربون يذوب في ماء المطر ويكون حمض الكربونيك كما توضحه المعادلة الكيميائية التالية.

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$

ثاني أكسيد الكربون   ماء   حمض الكربونيك

وعلى الرغم من ذلك فإن بعض العلماء يعتقدون أنه نظراً لزيادة استهلاك الوقود سواءً في وسائل النقل أو في المصانع فإن كمية ثاني أكسيد الكربون ستزداد في الغلاف الجوي مما قد يسبب في المستقبل تغيرات في الظروف الجوية وارتفاعاً في

درجة الحرارة وذلك لقدرة ثاني أكسيد الكربون على امتصاص الأشعة تحت الحمراء القادمة من الشمس.

والهواء عبارةً عن طبقة غير سميكة تحيط بالأرض وله فوائد جمة فهو المسؤول عن وجود الرياح والغيوم والأمطار، كما أنه يثبت درجة الحرارة على الأرض فلولاه لارتفعت درجة الحرارة إلى أكثر من ١٠٠°م نهاراً وتنخفض ليلاً لتصل إلى أقل من ١٤٠°م تحت الصفر، وسبب ذلك هو أن الهواء يمنع تسرب الحرارة. والهواء هو المسؤول عن انتقال الأصوات ومنه تحصل الكائنات الحية على الأكسجين اللازم كما يحصل النبات على ثاني أكسيد الكربون في عملية التمثيل الضوئي.

والغلاف الجوي مكون من طبقات، كل طبقة تحتوي على مكونات مختلفة فمثلاً تتركز مكونات الهواء في الطبقة السفلى والتي تسمى التربوسفير بينما الطبقة التي تليها في الارتفاع وهي طبقة الستراتوسفير تحتوي على نسبة أقل من مكونات الهواء السابقة مع وجود الأوزون وعدم احتوائها على بخار الماء. ويتميز الأوزون بقدرته على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية ذات الموجات القصيرة الضارة القادمة من الشمس.

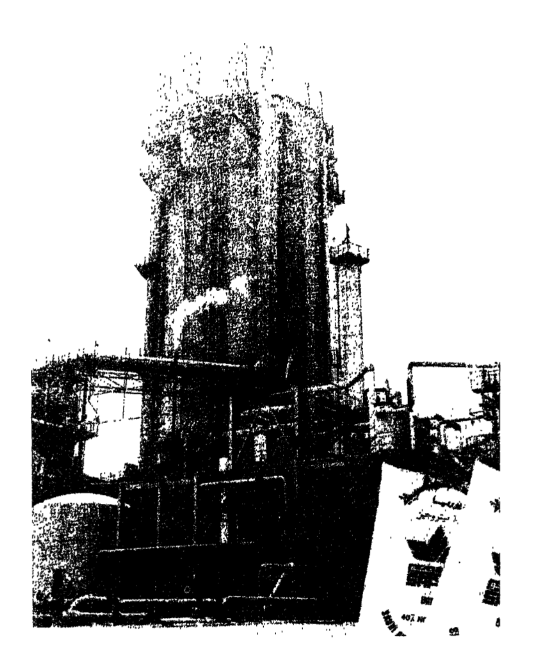
١ ــ ٢ التلوث الطبيعي والصناعي.

يقصد بالتلوث Pollution أي تغير بسنبب الكيميائيات أو العوامل الطبيعية أو الحيوية الأخرى في الكفاءة الطبيعية للبيئه. وعلى الرغم من أن مايقلق الباحثين في تلوث الهواء هو التلوث الصناعي الناشيء من إضافة غازات كيميائية غير مرغوب فيها إلى الهواء الجوي نتيجة للإحتراق غير الكامل للوقود المستخدم في وسائل النقل والصناعات المختلفة ومحطات توليد الكهرباء أو من إطلاق هذه الغازات من المصانع مباشرة أو من حرق النفايات الصلبة وعلى الرغم من ذلك فإن هناك ملوثات للهواء الجوي مصدرها طبيعي من ضمنها حبوب اللقاح التي تزداد في فصل الربيع مما يسبب الحساسية عند بعض الأشخاص، بالإضافة إلى ذلك فإن الأجزاء

الدقيقة الأخرى ذات الأصل النباتي أو الحيواني التي تثيرها الرياح تعتبر من الملوثات الطبيعية كما أن الجراثيم المسببة للأمراض تعتبر من الملوثات الطبيعية التي تزداد مع عدم الاهتمام بالنظافة ومع تراكم النفايات السائلة (المجاري) والصلبة (القمائم وغيرها)، وكذلك تزداد في الأماكن المزدحمة. كما أن الإنسان والحيوان يتنفس الأكسجين ويطلق ثاني أكسيد الكربون مما يزيد تركيز الأخير في الجو ومما يزيد المشكلة تعقيداً هو أن عدد سكان العالم يزداد بشكل كبير مع الزمن حيث بلغ ٢٫٥ مليون فقط في بداية التقويم الميلادي، وفي عام ١٨٨٠م وصل إلى ألف مليون، ووصل عام ١٩٨٣م إلى ٤٦٠٠ مليون نسمة، إلّا أنه لحسن الحظ فإن النبات يستهلك ثاني أكسيد الكربون في عملية التمثيل الضوئي. بالإضافة إلى ذلك فإن الأتربة التي تحملها الرياح تعتبر من الملوثات الطبيعية. تزداد هذه الأتربة في المناطق الصحراوية حيث تحملها الرياح، كما أن البراكين تقذف كمية هائلة من الأتربة. وتعتبر مدينة الرياض من أكثر المدن العالمية تلوثاً بالأتربة والرمال حيث نسبة هذه الملوثات الطبيعية فيها يتجاوز النسبة المسموح بها وهذا راجع إلى كون المدينة تقع في وسط الصحراء بعيداً عن السواحل أو المسطحات المائية والمناطق الخضراء الواسعة.

تجدر الإشارة هنا أن هناك مصادر صناعية لإثارة الأتربة مثل الأتربة الناشئه نتيجة الحروب سواءً من المتفجرات التقليدية أو النووية. كما أن بعض الصناعات تقذف بكميات كبيرة من الأتربة مثل صناعة الأسمنت التي تقذف سليكات الكالسيوم. هذا بالإضافة إلى عمليات الإنشاء والتعمير والحفر والهدم وغيرها.

ومن أبرز الأمثلة على حوادث تلوث الهواء هو التلوث الذي حدث في لندن في الفترة من ٣ إلى ١٠ ديسمبر عام ١٩٥٢م إذ سكن الهواء وانخفضت درجة الحرارة وازدادت الرطوبة وكثر الضباب الدخاني smog الملوث بالغازات السامة مثل أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات المتصاعدة من مواقد الفحم في البيوت والمصانع وانعدمت الرؤية حيث أصبح مداها في حدود ثلاثة أمتار مما أدى إلى موت أربعة آلاف شخص.



**شكل ١ ــ ١ صورة لمصنع شركة الأسمدة العربية (سافكو)
الدمام ــ المملكة العربية السعودية**

١ ـ ٣ الملوثات الكيميائية للهواء.

إن تلوث الهواء بالغازات يأتي معظمه من احتراق الوقود. وقد بدأ هذا التلوث بقدم إحراق الإنسان للخشب والفحم. هذا وقد بدأت الحكومات مبكراً بوضع حداً لمثل هذا التلوث. فقد أمر البرلمان البريطاني في وقت مبكر عام ١٢٧٣م منع إحراق الفحم في لندن. وعلى الرغم من أن كيمياء الغازات غير معروفه في ذلك الوقت إلّا أن البرلمان البريطاني أراد أن يقلل الدخان. والدخان هو الناتج المرئي من الإحتراق غير الكامل ويرافقه غازات كيميائية. والدخان هو عبارة عن أجزاء صغيرة الحجم متوسط قطرها ٠٫٠٧٥ ميكرون ويتكون من تركيبات كيميائية مختلفة تحتوي بصورة أساسية على الكربون والهيدروكربونات وجزيئات المعادن المختلفة.

يتكون الوقود من عنصر الكربون ومركبات الكربون ويعطي عند الاحتراق حرارة كما أن الغاز الرئيسي الذي يتصاعد منه هو غاز ثاني أكسيد الكربون غير السام إذا كان الهواء متوفراً بشكل جيد إلّا أن تركيز الأكسجين الموجود في الهواء قد يتناقص مما يؤدي إلى احتراق غير كامل وبذلك يتكون أول أكسيد الكربون السام. بينما تتصاعد أكاسيد النيتروجين نتيجة لتفاعل النيتروجين الجوي مع الأكسجين في وجود حرارة الإحتراق. بالإضافة إلى ذلك تتصاعد أكاسيد الكبريت لإحتواء الوقود سواء الفحم أو البترول على مركبات الكبريت. وفيما يلي أهم الملوثات الكيميائية للهواء.

أولاً : أكاسيد الكربون.

تشمل أكاسيد الكربون كل من أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون وهي غازات عديمة اللون والرائحة. وكما هو معروف أن المصدر الرئيسي لهذين الغازين هو احتراق الوقود سواءً من مداخن المصانع أو محطات توليد الكهرباء أو محركات السيارات أو الطائرات التي بدأ يزداد عددها سنة بعد الأخرى أو وسائل النقل المختلفة أو من الإحتراق لغرض التدفئة وكذلك من الحرائق ومن احتراق القمائم وغيرها.

غاز ثاني أكسيد الكربون غير سام إلَّا أن تواجده بتراكيز عالية جداً يؤثر على تركيز الأكسجين مما يسبب الاختناق. كما أن بعض العلماء يعتقدون أنه نظراً لزيادة استهلاك الوقود فإن كمية ثاني أكسيد الكربون قد تزداد في الغلاف الجوي مما قد يسبب في المستقبل تغيرات في الظروف الجوية وارتفاعاً في درجة الحرارة وذلك لقدرة ثاني أكسيد الكربون على امتصاص الأشعة تحت الحمراء القادمة من الشمس. إلَّا أن فريقاً آخراً من العلماء يعتقد أن التمثيل الضوئي للنباتات وذوبان ثاني أكسيد الكربون في ماء المطر كفيلان بأن يبقيا نسبة ثاني أكسيد الكربون في الهواء دون تغير يذكر.

يتصاعد ثاني أكسيد الكربون من احتراق الوقود إذا كان الهواء متوفراً بشكل جيد، إلَّا أن تركيز الهواء قد يتناقص مما يؤدي إلى احتراق غير كامل وبذلك يتكون أول أكسيد الكربون السام. ويزيد الاحتراق غير التام من المواد الكيميائية الصادرة من عوادم السيارات وذلك لارتفاع نسبة الوقود لنسبة الهواء في المحرك حيث أن النسبة الصحيحة هي جزء وقود إلى ١٥ جزءمن الهواء في السرعات المتوسطة داخل المدن وتختلف هذه النسبة بإختلاف السرعة.

وترجع سمية أول أكسيد الكربون إلى قدرته على الإتحاد مع الهيموجلوبين وتكوين مركب كاربوكسي هيموجلوبين الذي يحد من قدرة الدم على الإتحاد مع الأكسجين مما يؤدي إلى عدم وصول الأكسجين اللازم إلى خلايا الجسم.

إن تنفس الهواء الذي يحتوي على ١٠٠٠ جزء في المليون ppm من أول أكسيد الكربون يسبب الموت السريع. وقد وجد أن حالات التسمم بأول أكسيد الكربون تحتوي على ٥٠ إلى ٨٠٪ من الهيموجلوبين متحد بأول أكسيد الكربون على شكل كاربوكسي هيموجلوبين. ومع ذلك فإن إنتزاع أول أكسيد الكربون من الهيموجلوبين عملية سريعة أيضاً. فمثلاً نجد أن الأشخاص الذين يتمتعون بصحة جيدة يفقدون نصف أول أكسيد الكربون المتحد مع الهيموجلوبين في خلال ثلاث إلى أربع ساعات من تعرضهم لهذا الغاز. لذلك فإن أول أكسيد الكربون على عكس الملوثات الأخرى، يعتبر من المواد الخطرة إذا تم التعرض له بكميات مركزة في وقت قصير.

يزداد تركيز أول أكسيد الكربون في المدن المزدحمة بالسيارات وقد يصل إلى نسبة قدرها ١٠٠ جزء في المليون خاصة في الأنفاق وفي بعض الحالات في الشوارع المزدحة بالسيارات. علماً بأن هذه النسبة قد تسبب عند بعض الناس، خاصة المصابين بفقر الدم، بعض الأعراض مثل وجع الرأس والدوخة وحاجة إلى النوم. لذلك فإنه مثلاً في كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية يعتبر التعرض لأول أكسيد الكربون الموجود بنسبة ١٢٠ جزء في المليون لمدة ساعة أو ٣٠ جزء في المليون لمدة ثمان ساعات، يعتبر نسبة خطرة جداً.

تجدر الإشارة هنا إلى أن المدخنين يحصلون على نسبة أكبر من أول أكسيد الكربون الملوث للهواء إذ يحصلون على نسبة إضافية من أول أكسيد الكربون المتكون أثناء احتراق التبغ.

وعلى الرغم من أن الدراسات تبين أن نسبة أول أكسيد الكربون في الهواء تتضاعف نظرياً كل خمس سنوات، إلّا أنه من ناحية أخرى يجب أن نعرف أن كميته تتناقص عن طريق أكسدته إلى ثاني أكسيد الكربون حيث تتم الأكسدة في الجو ببطء في وجود أشعة الشمس بمعدل ١٪ من أول أكسيد الكربون في الساعة. وهو غاز قابل للاشتعال في وجود الأكسجين ويعطي ثاني أكسيد الكربون.

$$2CO + O_2 \xrightarrow{\text{أشعة الشمس}} 2CO_2$$

أول أكسيد الكربون   أكسجين   ثاني أكسيد الكربون

كما أنه من المعروف أن بعض الكائنات الدقيقة الحيّة الموجودة في التربة تستطيع أن تنتزع نسبة لابأس بها من أول أكسيد الكربون الموجود في الجو، إلّا أنه نظراً لكثافة أول أكسيد الكربون المنخفظة مقارنة بالهواء فإنه لا يتاح له فرصة كافية للبقاء قريب من مستوى التربة.

ثانياً : أكاسيد الكبريت.

تشمل أكاسيد الكبريت كل من ثاني أكسيد الكبريت وثالث أكسيد الكبريت. يتصاعد غاز ثاني أكسيد الكبريت من حرق الكبريت أو الكبريتيد أو مركبات

الكبريت بشكل عام. كما أن النسبة العظمى تأتي من احتراق الوقود (سواء الفحم أو البترول) المحتوى على مركبات الكبريت. حيث يوجد الكبريت في الفحم والبترول بنسب متفاوته.

فمثلاً يحتوي الفحم على ٤ر. إلى ٥ر. ٪ كبريت على شكل مركبات كبريتية مثل بايرات الحديد $Fe\,S_2$ وكبريتات غير عضوية. وقد وجد أن إحتراق الفحم يعطي ٦ مليون طن من ثاني أكسيد الكبريت في السنة في بريطانيا لوحدها، لذلك فإن عملية إنتزاع مركبات الكبريت من الفحم لها دور فعال لإختزال مشكلة التلوث بأكاسيد الكبريت. كما أن وقود البترول قد يحتوي على نسبة مقاربة لنسبة الكبريت في الفحم. ويوجد الكبريت في البترول على شكل كبريتيد الهيدروجين أو مركبات عضوية. هذا ويتكون ثاني أكسيد الكبريت مع قليل من ثالث أكسيد الكبريت عن طريق مصادر طبيعية مثل البراكين. ويتميز غاز ثاني أكسيد الكبريت برائحة نفّاذة وغير سارة وهو أعلى كثافة من الهواء الجوي ولا يحترق ولا يساعد على الإحتراق.

أما ثالث أكسيد الكبريت فهو سائل درجة غليانه ٤٥ْم لذلك فهو سهل التطاير. وهو شديد الميل للماء ويكون حمض الكبريتيك لذلك فهو يعتبر حمض كبريتيك فقد ماءه ويسمى حمض الكبريتيك اللامائي.

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

يتكون ثالث أكسيد الكبريت لنفس أسباب تكون ثاني أكسيد الكبريت ولكن بنسبة أقل بكثير وبشكل عام توجد المادتين مع بعض في معظم الحالات. كما أنه يتكون ببطء من تأكسد ثاني أكسيد الكبريت في وجود أشعة الشمس كما توضحه المعادلة الكيميائية التالية :

$$2SO_2 + O_2 \xrightarrow{\text{أشعة الشمس}} 2\,SO_3$$

ثاني أكسيد الكبريت   أكسجين   ثالث أكسيد الكبريت

يذوب ثاني أكسيد الكبريت في الماء ليكون حمض الكبريتوز غير الثابت حيث يتأكسد بسهولة إلى حمض الكبريتيك بعوامل مؤكسدة مختلفة.

$$SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$$

حمض الكبريتوز

$$H_2SO_3 \xrightarrow{\text{أكسـدة}} H_2SO_4$$

لذلك فإن تلوث الهواء بأكاسيد الكبريت يؤدي إلى تكون وتساقط حمض الكبريتوز والكبريتيك عن طريق الرطوبة الموجودة في الهواء الجوي أو عن طريق المطر مما يشكل الأمطار الحمضية ويزيد من مشكلة التلوث.

يؤثر ثاني أكسيد الكبريت على الأغشية المخاطية ويسبب إلتهاباً في الجهاز التنفسي كما يسبب الكحة وضيق في التنفس وعدم الراحة. وعندما تزداد كميته في الهواء فإنه يؤدى إلى تشنج الحبال الصوتية وإلى الاختناق. فمثلاً عندما يصل تركيز ثاني أكسيد الكبريت في الهواء إلى نسبة قدرها واحد إلى خمسة جزء في المليون فإنه يسبب عدم الراحة وصعوبة في التنفس، أمَّا التعرض له لمدة ساعة وبتركيز يصل إلى عشرة جزء في المليون فإنه يؤدي إلى آلام حادة وأعراض خطرة. لذلك فإنه في كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية يعتبر وجود ثاني أكسيد الكبريت بتركيز خمسة جزء في المليون يعتبر تلوث خطر. وعلى الرغم من أنه يدخل عن طريق الجهاز التنفسي ويخرج عن طريق البول على شكل كبريتات، إلَّا أن أعراضه لها صفة الاستمرارية على عكس أول أكسيد الكربون الذي يمكن إنقاذ صاحبه إذا تم التخلص منه بسرعة. ويؤثر ثاني أكسيد الكبريت على النباتات إذ يحدث أضراراً في أوراقها ويعتمد هذا الضرر على تركيزه فعند زيادته يؤدي إلى جفاف الخلايا وموتها. وقد وجد أن بعض النباتات تتأثر بشكل واضح عند تراكيز منخفضة تصل إلى ٠٢ر٠ جزء في المليون. بالإضافة إلى ضرر ثاني أكسيد الكبريت المباشر فإن ضرره غير المباشر يأتي من تحوله إلى أحماض الكبريت مما يؤدي إلى أضرار بالغة لما لهذه الأحماض من تأثير على الجهاز التنفسي وعلى الخلايا الحية. حيث تصل هذه الأحماض إلى الجهاز التنفسي عن طريق بخار الماء وتسبب التهابات وأضراراً أكثر مما يسببه ثاني أكسيد الكبريت. كما أن هذه الأحماض تؤثر على الكائنات الحية الأخرى النباتية والحيوانية، وكذلك تؤثر على المعادن ومواد البناء حيث تساعد على تآكلها حتى ولو كانت هذه الأحماض بتراكيز منخفضة.

أماً بالنسبة لثالث أكسيد الكبريت، فإنه على عكس ثاني أكسيد الكبريت، يتحول بسرعة إلى حمض الكبريتيك، لذلك فإن ضرره ينبع من تكون حمض الكبريتيك.

ثالثاً : كبريتيد الهيدروجين.

يوجد على شكل غاز وله رائحة البيض الفاسد وهو عديم اللون وأثقل من الهواء. كما أنه يحترق ويكون ثاني أكسيد الكبريت والماء إذا كانت كمية الأكسجين كافية أما إذا كانت غير كافية فإنه يحترق إحتراقاً غير كامل إلى كبريت وماء. وله سمية عالية حيث يؤثر في الجهاز العصبي المركزي ويؤدي إلى التهاب في الأغشية المخاطية في الجهاز التنفسي والعينين كما يؤثر على حاسة الشم. فعندما يوجد بتراكيز منخفضة جداً تصل إلى ١ر٠ جزء في المليون يمكن الإحساس برائحته ولكن مع زيادة التركيز إلى ١٠٠ جزء في المليون لعدة دقائق فإنه يتلف الإحساس بالشم. ان استمرار تنفس مثل هذا التركيز يسبب أضراراً بالغة للجهاز التنفسي. فلقد حدث في المكسيك عام ١٩٥٠م تلوث بسبب تسرب تراكيز عالية من كبريتيد الهيدروجين في الهواء لمدة ساعة مما أدى إلى قتل اثنين وعشرين شخصاً. كما وصل إلى المستشفيات ٣٢٠ حالة، وهؤلاء الذين تأثروا بالغاز فقدوا خاصية الشم. نستنتج مماسبق أنه على الرغم من أننا نستطيع أن نشم رائحته عند تراكيز منخفضة جداً إلّا أننا لا نستطيع تحديد تركيزه فيما لو كان أعلى من المسموح به، لذلك لابد من توفر أجهزة في المصانع وفي المدن للكشف عن تركيزه وبالتالي اتخاذ الاحتياطات اللازمة.

يوجد كبريتيد الهيدروجين في كثير من المياه المعدنية (المياه الكبريتية) كما يتصاعد من فوهات البراكين حيث يحترق كثير منه احتراقاً غير كامل إلى كبريت وماء. كما ينتج كبريتيد الهيدروجين من تخمر المواد العضوية التي تحتوي على الكبريت مثل المخلفات البشرية، لذلك يتصاعد من مياه المستنقعات والمجاري. إلّا أن المصدر الرئيسي لتلوث البيئة يأتي من إنتاج غاز الفحم ومن تكرير البترول ومن بعض الصناعات البتروكيميائية لإعتباره أحد مكونات البترول والغاز الطبيعي. يتأكسد كبريتيد الهيدروجين في الهواء إلى حمض الكبريتيك.

$$H_2S + 2O_2 \longrightarrow H_2SO_4$$

حمض الكبريتيك　　أكسجين　　كبريتيد الهيدروجين

لذلك فإن تركيزه في الهواء على مستوى العالم لا يزداد مع الزمن على الرغم من انبعاث حوالي ٣٠٠ مليون طن كل سنة. وبالتالي فإن تأثيره على الصحة يأتي من التركيز المفاجيء في مناطق محدودة.

رابعاً : فلوريد الهيدروجين.

يتصاعد فلوريد الهيدروجين من اختزال أسمدة الفوسفات ومن تصنيع خامات الحديد وصناعة السيراميك وغيرها. وهو غاز سام ومسبب للتآكل بدرجة كبيرة، لدرجة أنه يمكن أن يدمر الزجاج الذي يقاوم كثيراً من المركبات الكيميائية. ويذوب فلوريد الهيدروجين في ماء المطر مكوناً حمض الهيدروفلوريك.

وعلى الرغم من أن القياسات تشير إلى أن تركيز فلوريد الهيدروجين في الهواء الملوث غير مرتفع، إلّا أن خطورته تأتي من أن أيون الفلوريد يأخذ الصفة التراكمية في النبات مما يؤثر عليها وعلى الكائنات الحية التي تتناولها بما فيها الإنسان الذي يتناول هذه النباتات المحتوية على تراكيز عالية من أيون الفلوريد.

خامســاً : أكاسيد النيتروجين.

تتألف أكاسيد النيتروجين الملوثة للبيئة بصورة أساسية من أكسيد النيتريك وثاني أكسيد النيتروجين.

أكسيد النيتريك غاز عديم اللون وهو لا يساعد على الإشتعال العادي أماً المواد التي تشتعل بشدة مثل المغنسيوم والكبريت فيمكن أن تستمر في إشتعالها إذا وضعت في الغاز. ويتحد أكسيد النيتريك بالأكسجين عند درجات الحرارة العادية مكوناً ثاني أكسيد النيتروجين.

$$2\,NO + O_2 \longrightarrow 2\,NO_2$$

ثاني أكسيد النيتروجين　　الأكسجين　　أكسيد النيتريك

وثاني أكسيد النيتروجين غاز بني اللون ويميل إلى اللون الأحمر. وهو يذوب في الماء مكوناً حمض النيتروز وحمض النيتريك، إلَّا أن حمض النيتروز غير ثابت ويتحلل إلى أكسيد النيتريك.

$$3\,NO + H_2O \longrightarrow 2\,HNO_3 + [HNO_2]$$

حمض النيتريك — حمض النيتروز

$$[HNO_2] \downarrow NO$$

أكسيد النيتريك

وتتكون أكاسيد النيتروجين هذه من تفاعل النيتروجين الجوي مع الأكسجين الجوي عند درجات الحرارة العالية جداً أثناء عمليات احتراق الوقود. وتنتج النسبة العظمى من هذه الأكاسيد من عوادم السيارات حيث يتولد أكسيد النيتريك من تفاعل الأكسجين مع النيتروجين في داخل المحرك، ثم ينتج ثاني أكسيد النيتروجين ورابع أكسيد النيتروجين أثناء التبريد السريع لغازات العادم اللاحق للعملية السابقة.

$$N_2 + O_2 \longrightarrow 2\,NO$$

$$2\,NO + O_2 \underset{}{\overset{\text{١٥٠ إلى ١٦٥°م}}{\rightleftharpoons}} 2\,NO_2 \overset{\text{١٤٠°م}}{\rightleftharpoons} N_2O_4$$

رابع أكسيد النيتروجين

كما تنتج أكاسيد النيتروجين أثناء احتراق الوقود في المصانع ومحطات الكهرباء. بالإضافة إلى ذلك فإن هذه الأكاسيد تنتج كمخلفات من بعض الصناعات الكيميائية.

لأكاسيد النيتروجين رائحة غير مريحة، كما أنها تؤثر على الجهاز التنفسي وقد تسبب بعض أنواع الحساسية والتهابات في الجهاز التنفسي، كما تؤثر على الأغشية المخاطية. بالإضافة إلى ذلك فإن أكاسيد النيتروجين وخاصة ثاني أكسيد النيتروجين تؤثر على نمو النباتات.

لون ثاني أكسيد النيتروجين بني محمر كما أنه يمتص بعض أشعة الشمس لذلك فإن وجوده في الهواء يؤدي إلى إنخفاض مدى الرؤية ويساعد على تكون الضباب الدخاني smog وذلك في وجود الملوثات الأخرى مثل الأوزون وأكاسيد الكبريت والهيدروكربونات التي تنتج من الاحتراق غير الكامل للوقود.

وكمثال على تكون الضباب الدخاني هو مايحدث في مدينة لوس أنجلوس بالولايات المتحدة حيث ينطلق يومياً في الهواء ٧٥٠ طن من أكاسيد النيتروجين و ٢٥٠ طن من مواد هيدروكربونية والناتج المرئي للتفاعلات الضوئية لهذه الملوثات هو الضباب الدخاني. وعلى الرغم من أنه لاتوجد دلائل تشير إلى أن الضباب الدخاني يؤثر على صحة الإنسان إلّا أنه لايستبعد أن زيادة تركيز بعض الكيميائيات في الضباب الدخاني تسبب أضراراً بالغة. فمثلاً يسبب الأوزون أضراراً بالغة في الجهاز التنفسي وهو أحد مكونات الضباب الدخاني عندما يوجد بتراكيز قليلة تصل إلى واحد جزء في المليون وذلك عندما يبقى لمدة ثمان ساعات في اليوم ولمدة عام. كما أنه كلما زادت المواد المؤكسدة في الضباب الدخاني كلما زاد ضرره.

يساعد ثاني أكسيد النيتروجين في وجود ضوء الشمس على زيادة كمية الأوزون في الجو حيث يعطي ذرة أكسجين ويتحول إلى أكسيد النيتريك. تتحد ذرة الأكسجين هذه مع غاز الأكسجين الجوي لتعطي الأوزون.

$$NO_2 \xrightarrow{\text{أشعة الشمس}} NO + \dot{O}$$

ذرة أكسجين

$$\dot{O} + O_2 \longrightarrow O_3$$

أوزون

كما أن هذه التفاعلات الضوئية تعطي فوق أكسيد أسيتيل نيتريت وذلك في وجود الهيدركربونات.

$$CH_3-C(=O)-OONO_2$$

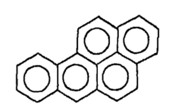
Peroxyacetyl nitrate

يؤثر فوق أكسيد أسيتيل نيتريت على الإنسان والكائنات الحية، كما أنه مادة مؤكسدة ويتفاعل مع الأكسجين ليعطي كمية إضافية من الأوزون.

للإوزون آثار ضارة على الإنسان والحيوان مشابهة لتأثيرات ثاني أكسيد النيتروجين. كما أن للأوزون تأثيرات ضارة على النباتات. وكذلك يؤثر على بعض البوليمرات مثل المطاط وغيره حيث أن الأوزون مادة نشيطة تؤكسد كثيراً من المواد. وهنا يجب عدم الخلط بين أضرار الأوزون القريب من سطح الأرض وبين فوائد الأوزون الموجود في طبقة الستراتوسفير التي تبعد حوالي ٢٤كم عن سطح الأرض. حيث أن لهذه الطبقة فائدة في امتصاص الأشعة فوق البنفسجية قصيرة الموجة والتي تسبب أضراراً على الكائنات الحية. وتتأثر هذه الطبقة بالملوثات الكيميائية حيث تدل الدراسات على أن التفجيرات النووية وأكاسيد النيتروجين المتخلفة من الطائرات أو المتكونة أثناء التفريغ الكهربي في السحب الرعدية وكذلك مركبات الفلوروكربون المستخدمة في الأيروسولات، كل هذه الملوثات تعمل على خفض كمية الأوزون في هذه الطبقة، مما يزيد من خطر وصول تراكيز عالية من الأشعة فوق البنفسجية إلى الأرض. وهنا يتضح أن أكاسيد النيتروجين لها دور مزدوج حيث تعمل على زيادة تركيز الأوزون بالقرب من سطح الأرض إذ أن تركيزه منخفض جداً بينما تعمل على تقليل تركيز الأوزون في الطبقات العليا مثل طبقة الستراتوسفير، التي تحتوي على الأوزون بتراكيز عالية.

سادســاً : الهيدروكربونات.

هي مركبات مكونة من الهيدروجين والكربون، مثل الميثان والإيثان والبروبان والبيوتان وغيرها. وهي المكون الرئيسي للبترول وتنشأ من الاحتراق غير الكامل لوقود السيارات والمصانع. ولها أضرار على الصحة كما أنها تسبب الضباب الدخاني وسنوضح في الفصل القادم هذا الموضوع بشيء من التفصيل. إلّا أنه يجب الإشارة هنا إلى أنه من أكثر الهيدروكربونات الملوثة للبيئة ضرراً هو البنزوبيرين الذي يسبب السرطان. ويتكون من احتراق مكونات البترول وخاصة الثقيلة مثل الزيوت والقار كما يوجد في دخان السجائر (التبغ) وفي قطران الفحم.



بنزوبيرين Benzopyrene

ســـابعاً : المعادن الثقيلة.

يحصل تلوث الهواء والماء بالمعادن الثقيلة من جراء انفجار البراكين ومن المبيدات الحشرية والفطرية المحتوية على العناصر الثقيلة. وكذلك يحصل التلوث بها عن طريق المخلفات الصناعية، ومن مخلفات الوقود في المصانع ووسائل النقل. وحيث أن العناصر الثقيلة تلوث الماء أكثر من الهواء فإننا سنتطرق لها بشيء من التفصيل في الفصل الثالث. إلَّا أننا سنركز في هذا الفصل على العناصر الثقيلة التي تلوث الهواء ومن أهمها ما يلي :

(أ) الزئبق.

يؤثر بخار الزئبق على الجهاز العصبي المركزي، ولمركبات الزئبق خصائص سامة. ويلوث الزئبق الهواء عن طريق صناعة الزئبق وبعض المبيدات الفطرية التي تحتوي على معدن الزئبق وكذلك صناعة الأصباغ.

(ب) الرصـــاص.

يعتبر الرصاص ومركباته مواداً سامة ولها أضرار صحية مختلفة. والمصدر الرئيسي لتلوث الهواء بمركبات الرصاص هو عوادم السيارات حيث تصل كمية الرصاص الناتجة من السيارات حوالي ٥٠٠ ألف طن في السنة وهذا يمثل أكثر من ٩٠٪ من الرصاص الملوث للهواء. وقد أجريت دراسة في مدينة الرياض عام ١٤٠٣هـ بينت أن تركيز الرصاص يقع بين ٣ إلى ٦ ميكروجرام/م٣ وهو ضعف النسبة المسموح بها على مدار السنة.

وسبب ذلك هو احتواء وقود السيارات على رباعي الكيل الرصاص الذي يوضع لرفع رقم الاوكتان للبنزين. يتحول رباعي الكيل الرصاص إلى أكاسيد وأملاح

ملوثـــات البيئـــة

الرصاص عند احتراق الوقود في المحرك، وهذه تتحول في الهواء إلى كربونات الرصاص التي تنتشر على شكل جسيمات صغيرة سامة يحملها الهواء.

لذلك فإنه يستخدم ميثل ثالثي بيوتل ايثر لرفع رقم الأوكتان لوقود السيارات بدلاً من رباعي ألكيل الرصاص والتي تشمل رباعي ميثيل الرصاص ورباعي إثيل الرصاص التي ثبت ضررها على تلوث البيئة وصحة الإنسان. وعملية رفع رقم الأوكتان، هو إدخال مواد وضبط نسب مكونات البنزين (وقود السيارات) بحيث يعطي عند الاستخدام الأداء الأمثل كوقود من ناحية الاحتراق الكامل وتقليل عدد الخبطات في المحرك. وتجدر الإشارة هنا بأن رقم أوكتان البنزين الخام لا يتعدى في أغلب الأحيان ٥٥٪ إلى ٦٥٪ والمطلوب رفعه إلى ٨٣٫٥٪ للبنزين العادي و ٩٥٪ للممتاز. وقد عدلت المصافي في بعض الدول عن إضافة مركبات الرصاص إلى البنزين واستبدل بها ميثل ثالثي بيوتل ايثر. ومن أمثلة هذه الدول الولايات المتحدة الأمريكية كما أنه تقرر مؤخراً إنشاء مصنع تابع لشركة سابك في المملكة العربية السعودية لإنتاج ٥٠٠ طن سنوياً من هذه المادة.

$$CH_3-C(CH_3)_2-OCH_3$$

ميثل ثالثي بيوتيل ايثر (MTBE)

Methyl-tert-butylether

ثامناً ـ الجسيمات :

هي عبارة عن جسيمات صغيرة جداً يترواح قطرها بين جزء من المئة من الميكرون إلى ٥٠٠ ميكرون. وهي تتكون من الأتربة الصناعية والطبيعية وحبيبات الرمال والدخان (مؤلف من جزيئات الكربون والمعادن الثقيلة) والضباب وما يحتويه من أحماض وغيرها من الجسيمات الصغيرة.

والمصدر الرئيسي لها هو الأتربة الصناعية مثل السليكات المنتشرة من مصانع الأسمنت، كما أنها تنشأ من دخان ورماد الحرائق ومخلفات الاحتراق غير الكامل

بالإضافة إلى ذلك فإنها قد تنشأ من مصادر طبيعية مثل حبيبات الرمال والأتربة التي تحملها الرياح وكذلك ما تقذفه البراكين من جسيمات يحملها الهواء.

تتساقط الجسيمات (وخاصة الكبيرة منها) من الهواء بعد عدة أيام على الأرض وذلك بتأثير الجاذبية، كما أن للمطر دوراً في إزالتها. وتسبب هذه الجسميات أضراراً مختلفة على الجهاز التنفسي والعيون، وتسبب بعض أمراض الحساسية. بالإضافة إلى ذلك فإن لها دوراً في امتصاص أشعة الشمس مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الأرض، كما أنها تؤثر على المنشآت والنباتات. ويختلف ضررها حسب نوعها ومصدرها، فمثلاً الأتربة الناتجة من مصانع الأسمنت تكون طبقة صلبة على النباتات مما يسبب جفافها.

تاســعاً : المبيدات :

هناك عدة طرق لنشر المبيدات الحشرية، فإذا كان الرش أو التضبيب هو الطريقة المستخدمة فإن جسيمات المبيدات الحشرية تعلق في الهواء ثم يحملها إلى مسافات بعيدة كما أن للمبيدات خاصية التبخر. ويعتبر د. د. ت. DDT من المبيدات الحشرية السامة والملوثة للبيئة بسبب ثباته وعدم تفككه لفترات طويلة لذلك فإنه لم يعد يستعمل كما كان من ذي قبل وقد استبدل بمركبات الفوسفات

$$Cl-C_6H_4-\underset{\underset{CCl_3}{|}}{CH}-C_6H_4-Cl$$

د. د. ت D.D.T

العضوية والكربامات. كما استبدلت الكيلات الزئبق كمبيدات للفطريات بمشتقات ألكوكسي وفينل زئبق حيث أنها أقل ثباتاً ولا تدوم طويلاً وبالتالي تتفكك ويكون أثرها في تلوث الهواء أقل. هذا وسوف نستعرض المبيدات في فصل مستقل (الفصل الخامس).

١ ــ ٤ نسبة مكونات الملوثات الكيميائية المسموح بها في الهواء.

لابد من معرفة الحد المسموح به من الملوثات الكيميائية، الناتجة عن احتراق الوقود احتراقاً غير كامل وعن المخلفات الصناعية، التي لو زادت عن مقدارها فإنها

تسبب خطراً على الصحة. لذلك فإن معرفة هذه النسب وتطبيقها في المصانع يؤدي إلى حماية البيئة من التلوث وبالتالي حماية الصحة العامة.

ويبين الجدول ١ ــ ١ الحد الأقصى المسموح به من الملوثات الكيميائية خلال فترة مدتها ثمان ساعات وذلك حسب ماهو مطبق في الولايات المتحدة الأمريكية. إلّا أنه يجب التنويه هنا أنه كلما زادت فترة التعرض لهذه الملوثات فإن النسبة المسموح بها يجب أن تقل كما هو مبين في الفصل الثاني (جدول ٢ ــ ٣، ٢ ــ ٤). هذا بالإضافة إلى أنه لكل دولة من دول العالم تشريعات خاصة بها تحدد الحد المسموح به من الملوثات الكيميائية في فترات مختلفة كما هو موضح أيضاً في الجدولين السابقين ٢ ــ ٣، ٢ ــ ٤. فمثلاً تحدد مصلحة الأرصاد وحماية البيئة في المملكة العربية السعودية بأن متوسط تركيز ثاني أكسيد الكبريت خلال ساعة واحدة لفترة طولها ٣٠ يوماً يجب ألا يتعدى ٢٨ر. جزء في المليون وعندما تزيد هذه الفترة فإنه يجب أن يقل التركيز بحيث يصبح متوسط تركيزه خلال ٢٤ ساعة لفترة طولها ١٢ شهراً يجب ألّا يزيد عن ١٤ر. جزء في المليون.

جدول ١ ــ ١ : الحد الأقصى المسموح به من الملوثات الكيميائية خلال فترة مدتها ثمان ساعات(*)

المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م^3	المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م^3
ايثين ثيول	١٠	٢٥	إيثلين كلوروهيدرين	٥	١٦
إيثانول أمين	٣	٦	إيثلين ثنائي أمين	١٠	٢٥
إيثوكسي إيثانول	٢٠٠	٧٤٠	أكسيد الأيثلين	٥٠	٩٠
إيثل أمين	١٠	١٨	إيثل إيثر	٤٠٠	١٢٠٠
إيثل أمايل كيتون	٢٥	١٣٠	إيثل فورميت	١٠٠	٣٠٠
إيثل بنزين	١٠٠	٤٣٥	ايزوبروبيل أمين	٥	١٢

تابع جدول ١ ـ ١:

المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م³	المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م³
ايزوبروبيل أسيتون	١٠٠	٤١٠	أكرولين	١ر	٢٥ر
ايزوبروبيل إيثر	٥٠٠	٢١٠٠	أكريل أميد	—	٣ر
أرسنات الرصاص	—	١٥ر	أكريلونيتريل	٢٠	٤٥
أكسيد المجنسيوم	—	١٥	اسبستوس	—	١٨٠
أكريلات الإثيل	٢٥	١٠٠	إسمنت	—	١٨٠٠
أكريلات الميثل	١٠	٣٥	الدرين	—	٢٥ر
إيثل ميثل كيتون	٢٠٠	٥٩٠	أمينوبيريدين	٢	٥٢ر
إيوديد الميثل	٥	٢٨	أمونيا	٥٠	٣٥
أكتان	٥٠٠	٢٣٥٠	أمونيوم سلفميت	—	١٥
أكسيد أوزميوم	—	٠٠٢ر	أنيلين	٥	١٩
أكسيد البروبيلين	١٠٠	٢٤٠	أنيسيدين	—	٥ر
أحادي كلوريد			أنتيمون ومركباته	—	٥ر
الكبريت	١	٦	أرسينيك ومركباته	—	٥ر
أكسيد الزنك	—	٥	أرسين	٠٥ر٥	٢ر
أكسيد النيتريك	٢٥	٣٠	إندرين	—	١ر
أول أكسيد الكربون	٥٠	٥٥	باريوم	—	٥ر
أوزون	١ر	٢ر	بيريدين	٥	١٥
أرسنات الكالسيوم	—	١	بنزويل بيروكسيد	—	٥
أسيتلدهيد	٢٠٠	٣٦٠	بلاماء حمض البوريك	—	١٥
أكسيد الكالسيوم	—	٥	بلاماء حمض الخل	٥	٢٠
أسيتون	١٠٠٠	٢٤٠٠	بلاماء حمض الماليك	٢٥ر	١
أسيتو نيتريل	٤٠	٧٠	بلاماء حمض فثاليك	٢	١٢

تابع جدول ١ ــ ١:

المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م٣
بروميد الهيدروجين	٣	١٠
برومو إيثين	٢٠٠	٨٩٠
بنتان	١٠٠٠	٢٩٥٠
برليوم	—	٠٠٢ر٠
بروم	٠ر١	٠ر٧
بنزين	١٠	—
بروموفورم	٠ر٥	٥
بروموميثين	٢٠	٨٠
بيوتادايئين	١٠٠٠	٢٢٠٠
باراثيون	—	١١ر٠
بيوتل أمين	٥	١٥
بيوتل مركبتان	١٠	٣٥
بيوتل فثلات	—	٥
بترول (غاز)	١٠٠٠	١٨٠٠
بترول (نفثا)	٥٠٠	٢٠٠٠
بنتادايئين حلقي	٧٥	٢٠٠
بلاتين ومركباته	—	٠٠٢ر٠
بروبيل نيتريت	٢٥	١١٠
بروبان	١٠٠٠	١٨٠٠
تلريوم	—	٠ر١
تولوين	٢٠٠	—
تولويدين	٥	٢٢
تربنتين	١٠٠	٥٦٠
تتراهيدروفيران	٢٠٠	٥٩٠
ثنائي كلوروبنزين (أورثو)	٥٠	٣٠٠
ثنائي كلوروبنزين (بارا)	٧٥	٤٥٠
ثنائي كلورو ثنائي فلورو ميثان	١٠٠٠	٤٩٥٠
ثنائي إيثل أمين	٢٥	٧٥
ثنائي إيزوبروبيل أمين	٥	٢٠
ثنائي ميثل أسيتاميد	١٠	٣٥
ثنائي ميثل أمين	١٠	١٨
ثنائي ميثل أنيلين	٥	٢٥
ثنائي ميثل فورم أميد	١٠	٣٠
ثنائي ميثل هيدرازين	٠ر٥	١
ثنائي ميثل فثاليت	—	٥
ثنائي ميثل سلفيت	١	٥
ثنائي نيتروبنزين	—	١
ثنائي فينل	٠ر٢	١
إندرين	—	٠ر١
ثنائي أكسيد النيتروجين	٥	٩

تابع جدول ١ ـ ١:

المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م٣
ثالث فلوريد		
النيتروجين	١٠	٢٩
ثالث كلوريد الفسفور	٥ر	٣
ثاني أكسيد الكبريت	٥	١٣
ثاني أكسيد الكربون	٥٠٠٠	٩٠٠٠
ثنائي أزوميثين	٢ر	٤ر
ثنائي بورين	١ر	١ر
ثاليوم ومركباته	—	١ر
ثاني أكسيد تايتينيوم	—	١٥
١،١،١ — ثلاثي		
كلورو إيثان	٣٥٠	١٩٠٠
١،١،٢ — ثلاثي		
كلورو إيثان	١٠	٤٥
ثلاثي كلورو		
فلوروميثان	١٠٠٠	٥٦٠٠
ثلاثي إيثل أمين	٢٥	١٠٠
ثلاثي نيتروتولوين	—	١٥ر
ثنائي كبريتيد الكربون	٢٠	—
ثلاثي فينل فوسفات	—	٣
ثنائي بروميد إيثلين	٢٠	
ثنائي كلوريد إيثلين	٥٠	
ثلاثي كلوريد إيثلين	١٠٠	

المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م٣
ثنائي كلورو اسيتلين	٢٠٠	٧٩٠
ثلاثي فلورو بورين	١	٣
حمض الخل	١٠	٢٥
(حمض الأسيتيك)		
حمض كروميك	—	١ر٠
حمض الكبريتيك	—	١
حمض فورميك	٥	٢٠
حمض ميثا أكرليك	١٠٠	٤١٠
حمض نيتريك	٢	٥
حمض أكساليك	—	١
حمض فسفوريك	—	١
حمض بيكريك	—	١ر٠
خلات بيتوتيل	١٥٠	٧١٠
خلات إيثل	٤٠٠	١٤٠٠
خامس أكسيد فناديوم	—	٣ر٠
خلات إيزوبيوتل	١٥٠	٧٠٠
خلات إيزوبروبيل	٢٥٠	٩٥٠
خلات الميثل	٢٠٠	٦١٠
خلات البروبيل	٢٠٠	٨٤٠
خامس كلوريد		
الفسفور	—	١
خارصين	—	١ر

تابع جدول ١ – ١:

المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م٣	المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م٣
دخان	—	٠ر١٥	سلنيد الهيدروجين	٠ر٠٥	٢
د د ت	—	١	فلور	٠ر١	٠ر٢
دايوكسين	١٠٠	٣٦٠	فلوريد (أيون)	—	٢ر٥
روديوم	—	٠ر١	فلوريد الهيدروجين	٣	—
رصاص ومركباته	—	٠ر٢	فضة ومركباته	—	٠ر٠١
رباعي كلوريد إيثلين	١٠٠	—	فسفور	—	٠ر١
رباعي كلورو إيثان	٥	٣٥	فوسفين	٠ر٣	٠ر٤
رباعي خلات			فورمالدهيد	٣	٤ر٥
الرصاص	—	٠ر٠٧٥	فينول	٥	١٩
رابع كلوريد الكربون	١٠	—	فينل هيدرازين	٥	٢٢
زئبق (عنصر)	—	١	فوق أكسيد		
زئبق (مركبات عضوية)	—	٠ر٠١	الهيدروجين	١	١ر٤
زايلين	١٠٠	٤٣٥	فورفيورال	٥	٢٠
زركونيوم ومركباته	—	٥	فوسجين	٠ر١	٠ر٤
زيوت معدنية	—	٥	فورمات إيثل	١٠٠	٣٠٠
سادس فلوريد سلينيوم	٠ر٠٥	٠ر٤	فينل إيثر	١	٧
سلينيوم ومركباته	—	٠ر٢	قطران الفحم	—	٠ر٢
سيانيد الهيدروجين	١٠	١١	كادميوم	—	٠ر١٥
ستايدين	١٠٠	—	كحولات	١٠٠٠	١٩٠٠
ستركنين	—	٠ر١٥	كحول اليلي	٢	٥
سيانيد	—	٥	كحول ميثيلي	٢٠٠	٢٦٠
سيكلونيت	—	١ر٥	كلوريد اليلي	١	٣

تابع جدول ١ ــ ١:

المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م٣	المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م٣
كحول ايزوبروبيلي	٤٠٠	٩٨٠	كبريتيد الهيدروجين	٢٠	١٤ر٤
كلوريد بنزيل	١	٥	كلوريد الزنك	—	١
كحول ايزوبيوتيلي	١٠٠	٣٠٠	كلورو إيثين	١٠٠٠	٢٦٠٠
كحول بيوتيلي عادي	١٠٠	٣٠٠	كلوريد إيثليدين	١٠٠	٤٠٠
كحول بيوتيلي ثانوي	١٥٠	٤٥٠	كلوريد الهيدروجين	٥	٧
كحول بيوتيلي ثالثي	١٠٠	٣٠٠	كينون	ار	٤ر
كحول ايزوبنتيلي	١٠٠	٣٦٠	منجنيز	—	٥
كامفور	٢	—	مالثيون	—	١٥
كحول بروبارجيلي	١	—	ميثين ثيول	١٠	٢٠
كربون	—	٣ر٥	موليبدينيوم	—	١٠
كحول بروبيلي عادي	٢٠٠	٥٠٠	ميثل أمين	١٠	١٢
كلور	١	٣	نيتروتولوين	٥	٣٠
كلورو أسيتالدهيد	١	٣	نيتروبنزين	١	٥
كلوروبنزين	٧٥	٣٥٠	نيتروجليسرين	٢ر	٢
كلوروفورم	٥٠	٢٤٠	نيتروإيثين	١٠٠	٣١٠
كروميوم ومركبات	—	٥ر	نحاس	—	١
كوبالت	—	ار	نيترو انيلين	١	٦
كريسول	٥	٢٢	نيكوتين	—	٥ر
كروتون الدهيد	٢	٦	نيكل ومركباته	—	١
كيومين	٥٠	٢٤٥	نيكل كاربونيل	١٠٠ر	٠٠٧ر
كلوريد الميثل	١٠٠	—	نفثالين	١٠	٥٠
كلوريد ميثلين	٥٠٠	—	هيدرازين	١	١ر٣

تابع جدول ١ ــ ١:

المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م٣	المادة الملوثة	جزء في المليون	مجم/م٣
هيدروكينون	ــ	٢	هكسين حلقي	٣٠٠	١٠١٥
هكسان	٥٠٠	١٨٠٠	هيدريد ليثيوم	ــ	٠٢٥ر
هبتانون	١٠٠	٤٦٥	بريتريوم	ــ	١
هبتان	٥٠٠	٢٠٠٠	يورانيوم (مركبات ذائبة)	ــ	٠٥ر
هيدروكسيد الصوديوم	ــ	٢	يورانيوم (مركبات غير ذائبة)	ــ	٢٥ر
هكسان حلقي	٣٠٠	١٠٥٠			
هكسانول حلقي	٥٠	٢٠٠			
هكسانون حلقي	٥٠	٢٠٠			

(*) The Merck Index, Merck & Co. Inc., Rahway, New Jersey, 1976.

١ ــ ٥ مكافحة تلوث الهواء.

هناك عدة وسائل لمكافحة تلوث الهواء نلخص منها الآتي :

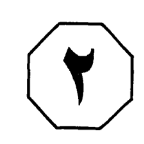
١ ــ نظراً لكون احتراق الوقود احتراقاً غير كامل سواء في المصانع أو في وسائل النقل هو المسئول الأول عن تلوث الهواء بالغازات الكيميائية فإنه يجب التركيز على كيفية إحتراق الوقود الكامل الأمثل لكي نخفف من تركيز الغازات الكيميائية الملوثة للهواء مثل أكاسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات وهذا ما سندرسه بشكل من التفصيل في الفصل القادم.

٢ ــ حيث أن الكبريت الموجود في الوقود سواء الفحم أو البترول المستخدم في الصناعة أو محطات توليد الكهرباء، أو وسائل النقل المختلفة هو المسؤول الرئيسي عن التلوث بأكاسيد الكبريت لذلك فإنه لابد من إستخدام وقود خالٍ من الكبريت وحيث أن انتزاع الكبريت بصورة كاملة من الوقود عملية مكلفة لذلك فإنه ينصح التقليل من نسبة وجود الكبريت في الوقود.

٣ـ عادة يضاف رباعي ألكيل الرصاص إلى وقود السيارات لغرض تحسين الرقم الأوكتيني وبالتالي تخفيف الفرقعة وهذا يؤدي إلى التلوث بمركبات الرصاص السامة لذلك ينصح باستبداله بمواد تحسن الرقم الأكتيني والتي لا تلوث البيئة مثل استخدام ميثل ثالثي بيوتل ايثر MTBE.

٤ـ إن أفضل طريقة للتقليل من الغازات والجسيمات الصادرة من مداخن المصانع كمخلفات كيميائية هو إيجاد طرق إنتاج محكمة الغلق. كما ينصح باستخدام وسائل عديدة لتجميع الجسيمات والغازات مثل استخدام المرسبات الكيميائية ومعدات الاحتراق الخاصة والأبراج واستخدام المرشحات والمواد الممتزة.

٥ ـ التخلص السليم من المخلفات السائلة (المجاري) والصلبة (القمائم والسيارات الخردة والبلاستيك وورق الكرتون وغيره). ويشمل التخلص السليم الاستفادة منها في التصنيع مثل صناعة السماد من مياه المجاري والقمائم وكذلك استخلاص الحديد والنحاس من السيارات الخردة وغير ذلك. وفي حالة عدم التمكن من التخلص من المخلفات الصلبة عن طريق الاستفادة منها في التصنيع فإنه على الأقل يجب عدم حرق هذه المخلفات في المناطق القريبة من المدن لما في ذلك من تصاعد غازات تلوث البيئة. كما يجب عدم ترك المخلفات الصلبة مكشوفة لأن تركها يؤدي إلى نمو البكتريا التي تؤكسد وتحلل المخلفات الصلبة، مما يسبب في تصاعد غازات تلوث البيئة وذات رائحة كريهة مثل كبريتيد الهيدروجين، كما تنمو جراثيم ضارة ومسببة للأمراض. لذلك فإن أفضل طريقة هي دفنها بعيداً عن المدن وذلك بعد أن تضغط لتصبح ٤ /١ حجمها الأصلي أو بعد أن تحرق بطرق حديثة آلية تضمن عدم تسرب الغازات الكيميائية إلى الهواء بغرض إختزال حجم النفايات. يلي ذلك تشجير المنطقة المدفونة كما سيتضح في الفصل الرابع.



الفصل الثاني
الملوثات الناتجة من عوادم السيارات

٢ ـ ١ مقدمـة.

تعتبر مشكلة تلوث البيئة وفساد الظروف الطبيعية أهم مشاكل هذا العصر لما تقذفه المنشآت الصناعية من كميات مهولة من الملوثات يومياً سواء في الهواء أو على اليابسة أو في البحار، فأصبح من المتعذر الحصول على بيئة نظيفة خالية من الملوثات.

ولعل أهم مصدر من مصادر تلوث الهواء الجوي يعزى للازدياد المستمر في عمليات احتراق الوقود في مختلف الحقول الصناعية نظراً لزيادة الطلب على الحصول على الطاقة وتسخيرها، وتمثل السيارات أكبر مصدراً من مصادر تلوث الهواء لما يحترق بداخلها من كميات كبيرة من الوقود وبسبب وجودها في مناطق مختلفة مما يساعد على انتشار هذه الملوثات وتوزيعها في مختلف الأرجاء. إضافة إلى أن كثيراً من السيارات العاملة تفتقد الصيانة المطلوبة، فمعظمها في الغالب يحترق فيه الوقود احتراقاً غير تام، ويسهم مساهمة كبيرة في تلويث البيئة. لذلك سنفرد فصلاً كاملاً عن الملوثات الصادرة من السيارات وخطورتها وطرق التحكم فيها والوسائل المستخدمة لمعالجتها.

إن الازدياد المستمر في الكثافة السكانية في دول الخليج العربي وارتفاع مستوى المعيشة في الزمن الراهن أدى إلى زيادة عدد السيارات كما هو مبين في جدول ٢ ـ ١، وساعد على تفاقم مشكلة تلويث السيارات للبيئة في المنطقة مما جعل

ملوثـــــات البيئـــــة

عملية التحكم في هذا التلوث والحد منه أمراً لازماً مطلوباً. وتتلخص جهود العاملين في مجال التحكم في تلوث البيئة في ثلاث اتجاهات رئيسية للتغلب على مشكلة تلويث السيارات للبيئة وهي :

١ ــ إدخال التحسينات والتعديلات في تصميم محركات السيارات.

٢ ــ استخدام الوسائل الممكنة للحد من الملوثات المنبعثة.

٣ ــ تحسين نوعية الوقود المستخدم.

ومما لاشك فيه أن كل وسيلة من هذه الوسائل لها حد وإمكانية في التطبيق وتكلفة في التنفيذ قد تحول هذه الأسباب دون تنفيذها أو تطبيقها، وفيما يلي عرض مبسط لإمكانية كل اتجاه والطرق المستخدمة فيه، وذلك بعد بيان نوعية وخطورة الملوثات وطرق تكوينها، وذلك أن معرفة هذه الملوثات وخطورتها وأسباب تكونها يساعد في اختيار الطريقة الملائمة للتحكم بها والحد منها.

جدول ٢ ــ ١ تعداد السيارات ومعدل الزيادة السنوي في بعض دول الخليج العربي(*)

الدولة	الشاحنات		السيارات الخاصة		الباصات		سيارات الأجرة	
	ألف مركبة	معدل الزيادة	ألف سيارة	معدل الزيادة	ألف باص	معدل الزيادة	ألف سيارة	معدل الزيادة
البحرين (١٩٧٩)	١٢٫٦	١٤٫٨٪	٤٤٫٩	١٩٫٢٪	٢٫٢	١٦٫٤٪	١٫٢	٥٫٩٪
الكويت (١٩٨٠)	١٣٥٫٦	١٥٫٩٪	٣٨٩٫٣	١٤٫٨٪	٨٫٤	١٧٫٢٪	٩٫٦	٤٫٢٪
السعودية (١٩٨٠)	٥٧٦٫٧	٤٠٫١٪	٨٥٢٫٢	٤٧٫١٪	٣٠٫٥	٣٩٫٨٪	—	—
الإمارات (١٩٧٩)	٢٦٫٥	—	١٠٨٫٤	—	٢٫٥	—	—	—

(*) The Resource Base for Industrialization in the Member States of Co-Operation Council of the Arab States of the Gulf, The Co-operation Council of The Arab States of The Gulf, Secretarial General, Riyadh, 1985.

٢ ــ ٢ الملوثات الصادرة من السيارات ــ أنواعها وطرق تكوينها.

على أثر الضباب الدخاني الكثيف الذي تعرضت له مدينة لوس أنجلوس في الولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٩٥٠م بدأت مشكلة تلويث السيارات للبيئة تظهر بوضوح، وصاحب ذلك اهتمام كبير من الناس للسيطرة على هذا التلوث فوجدت بذلك قوانين وقواعد لتحديد التراكيز المسموح بها لانبعاث الملوثات المختلفة من السيارات.

إن أهم الملوثات التي تنبعث من محركات السيارات هي غاز أول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والمواد الهيدروكربونية غير المحترقة أو المحترقة جزئياً، بالإضافة إلى مركبات الرصاص والجسيمات الدقيقة. وتعزى نسبة كبيرة من وجود هذه الملوثات في الهواء الجوي إلى السيارات خاصة التي تعمل بالبنزين، كما هو واضح في جدول ٢ ــ ٢. ذلك أن الاحتراق في محركات الديزل غالباً ما يكون تاماً، كما وأن نسبة الهواء إلى الوقود مرتفعة مما يساعد على عدم تكوين هذه الملوثات كما سيتضح في نهاية هذا الفصل.

إن انبعاث ملايين الأطنان من هذه الملوثات سنوياً كما هو مقدر في الجدول ٢ ــ ٢ في الولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٩٦٨م دعا الحكومة الأمريكية لوضع القواعد المبينة للقدر المسموح به من الملوثات الصادرة من السيارات. فقبل عام ١٩٦٨م مثلاً كانت تبعث السيارات حوالي ١٢٥٠ جزء في المليون من المواد الهيدروكربونية، ونسبة ٦٪ من أول أكسيد الكربون، ثم انخفضت هذه النسب إلى ٦٥٠ جزء في المليون للمواد الهيدركربونية، ونسبة ٥٪ لتركيز أول أكسيد الكربون. وفي الوقت الراهن لا يسمح بزيادة تركيز المواد الهيدروكربونية عن ١٧٥ جزء في المليون، و٥٪ فقط من أول أكسيد الكربون. ويبين الجدولان ٢ ــ ٣، ٢ ــ ٤ الحدود المسموح بها لتركيز المواد الملوثة الصادرة من السيارات وغيرها في الهواء في كل من الولايات المتحدة الأمريكية والمملكة العربية السعودية.

جدول ٢ ـ ٢ مصادر وكميات بعض الملوثات المقدرة في الولايات المتحدة الأمريكية ١٩٦٨م
(مليون طن)

مصدر الملوثات	أول أكسيد الكربون	المواد الهيدروكربونية	أكاسيد النيتروجين
وسائل النقل :			
ـ السيارات :			
محركات البنزين	٩٥٫٠	١٥٫٢	٦٫٦
محركات الديزل	٠٫٢	٠٫٤	٠٫٦
ـ الطائرات	٢٫٤	٠٫٣	ـ
ـ القطارات	٠٫١	٠٫٣	٠٫٤
ـ المراكب	٠٫٣	٠٫١	٠٫٣
مصادر ثابتة	١٫٩	٠٫٧	١٠٫٠
النفايات	٧٫٨	١٫٦	٠٫٦
مخلفات صناعية	٩٫٧	٤٫٦	٠٫٢
أشياء أخرى	١٨٫٧	٨٫٨	٢٫٠
نسبة محركات البنزين	٥٩٪	٤٧٫٥٪	٣١٫٨٪
نسبة محركات الديزل	٠٫٢٪	٠٫٧٪	٢٫٩٪

جدول ٢ ـ ٣ أنواع الملوثات الصادرة من السيارات والتراكيز المسموح لانبعاثها (هيئة حماية البيئة ـ الولايات المتحدة الأمريكية)

الملوث	الزمن المتوسط للتعرض للتلوث	الحد الأعلى للتركيز المسموح به
أول أكسيد الكربون	٨ ساعات	١٠ ملليجرام/متر٣ (٩ جزء في المليون)
	١ ساعة	٤٠ ملليجرام/متر٣ (٣٥ جزء في المليون).
أكاسيد النيتروجين	معدل سنوي	١٠٠ ميكروجرام/متر٣ (٠٥ر٠ جزء في المليون).
جسيمات عالقة	معدل سنوي	٧٥ ميكرجرام/متر٣
	٢٤ ساعة	٢٦٠ ميكروجرام/متر٣
هيدروكربونات	٣ ساعات	١٦٠ ميكروجرام/متر٣ (٢٤ر٠ جزء في المليون).
مركبات الرصاص	٣ أشهر	٥ر١ ميكروجرام/متر٣

جدول ٢ ـ ٤ الملوثات الغازية والتراكيز المسموح لانبعاثها (مصلحة الأرصاد وحماية البيئة ـ المملكة العربية السعودية

الملوث	متوسط التركيز خلال ساعة واحدة لفترة طولها ٣٠ يوماً	متوسط التركيز خلال ٢٤ ساعة لفترة طولها ١٢ شهراً	متوسط التركيز في العام لفترة طولها ١٢ شهراً
١ ـ ثاني أكسيد الكبريت	٨٠٠ ميكروغرام/م٣ (٢٨ر٠ جزء في المليون) أكثر من مرتين في أي موقع	٤٠٠ ميكروغرام/م٣ (١٤ر٠ جزء في المليون) أكثر من مرة واحدة في أي موقع	٨٥ ميكروغرام/م٣ (٠٣ر٠ جزء في المليون) في أي موقع

تابع جدول ٢ ـــ ٤:

الملوث	متوسط التركيز خلال ساعةواحدة لفترة طولها ٣٠ يوماً	متوسط التركيز خلال ٢٤ ساعة لفترة طولها ١٢ شهراً	متوسط التركيز في العام لفترة طولها ١٢ شهـــراً
٢ ـــ الدقائق العالقة القابلة للاستنشاق		٣٤٠ ميكروغرام/م٣ أكثر من واحدة في أي موقع	٨٠ ميكروغرام/م٣ في أي موقع
٣ ـــ المؤكسدات الفوتوكيمائية المقاسة «كالأوزون»	٢٩٠ ميكروغرام/م٣ (١٥ر جزء في المليون) أكثر من مرتين في أي موقع		
٤ ـــ أكاسيد النيتروجين المقاسة كثاني أكسيد النيتروجين	٦٦٠ ميكروغرام/م٣ (٣٥ر جزء في المليون) أكثر من مرتين في أي موقع		١٠٠ ميكروغرام/م٣ في أي موقع
٥ ـــ أول أكسيد الكربون	٤٠ ملليغرام/م٣ (٩ أجزاء في المليون) أكثر من مرتين في أي موقع		
٦ ـــ كبريتيد الهيدروجين	٢٠٠ ميكروغرام/م٣ (١٤ر جزء في المليون) لمدة اثنى عشر شهرا أكثر من مرة واحدة	٤٠ ميكروغرام/م٣ (٠٣ر جزء في المليون) أكثر من مرة وحدة في أي موقع	
٧ ـــ الفلوريدات	يجب أن لا يتعدى المتوسط الشهري خلال أية مدة طولها ثلاثين يوماً عن ١ ميكرو غرام/م٣ (٠٠١ر جزء في المليون) في أي موقع.		

وفيما يلي أنواع الملوثات الصادرة من السيارات :

١ ــ الجسيمات الدقيقة الصلبــة.

تخرج مع غازات العادم كميات مختلفة من المواد الصلبة الدقيقة والتي يمكن رؤيتها في بعض الأحيان وتتكون هذه الجسيمات من المواد الهيدركربونية ومن الرصاص والمواد الأخرى المضافة للوقود. وتصدر محركات الديزل كميات كبيرة من هذه الجسيمات الصلبة ذات أصل كربوني بسبب نوعية الوقود (الديزل) المستخدم وطريقة عمل المحرك، بينما يرجع سبب تكوين جسيمات الرصاص لإضافة مركبات الرصاص لتحسين نوعية الوقود، ولمركبات الرصاص أثر خطير على الصحة والبيئة.

وتستخدم عادة كلمة جسيمات لوصف المواد الصلبة أو السائلة التي لها قطر أكبر من قطر الجزيء، وأصغر من ٥٠٠ ميكروميتر، أي أقل من ٥٠٠ ميكروميتـر، وأكبر من ٠٠٠٢ر٠ ميكروميتر. ويستنشق الإنسان الجسيمات التي تتراوح في أقطارها بين ٠١ر٠ ــ ١ر٠ ميكروميتر. ولهذه الجسيمات تأثيرات خطيرة على الجهاز التنفسي للإنسان لأن ٥٠٪ تقريباً منها يترسب داخل الجسم. وينبعث من السيارات كميات كبيرة من الجسيمات الصلبة في هذه الحجوم تقريباً.

٢ ــ أول أكسيد الكربون.

يتكون غاز أول أكسيد الكربون نتيجة للاحتراق غير التام للوقود داخل المحرك. وهو غاز عديم اللون والرائحة له أضرار خطيرة على الإنسان كما هو موضح في الفصل الأول، وتعزى نسبة ٧٥٪ من كمية أول أكسيد الكربون الموجودة في الهواء الجوي إلى محركات السيارات، ويقدر المعدل السنوي لانبعاث غاز أول أكسيد الكربون من محركات السيارات بحوالي ٣٥٠ مليون طناً من مختلف بقاع العالم، ومن المتوقع أن تزيد بذلك نسبة وجود هذا الغاز في الهواء حوالي ٠٣ر٠ جزيء في المليون سنوياً.

ويمكن التحكم في انبعاث هذا الغاز عند زيادة كمية الهواء وذلك أن سبب تكوينه يعود إلى نقص الأكسجين اللازم للإحتراق التام للوقود، وعند توفر الأكسجين الكافي يتحول أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون، وهو غاز عديم الضرر مقارنة بغاز أول أكسيد الكربون.

٣ ـ أكاسيد النيتروجين.

تتكون أكاسيد النيتروجين مثل أكسيد النيتريك وثاني أكسيد النيتروجين وأكسيد النيتروز N_2O_2 عند درجات الحرارة العالية أثناء الاحتراق داخل المحرك والتي قد تصل إلى ٢٥٠٠°م، وتتكون هذه الأكاسيد عند درجة حرارة ١٤٠٠°م.

ويشكل التحكم في انبعاث هذه الأكاسيد مشكلة إذا ما أريد التحكم في الملوثات الأخرى. وذلك أن درجة حرارة الاحتراق تكون أعلى ما يمكن في حالة الاحتراق التام، بينما تنخفض نسبة انبعاث الملوثات الأخرى عند هذه الحالة ويزيد انبعاثها في حالة زيادة أو نقص نسبة الهواء إلى الوقود عن النسبة الكيميائية الصحيحة اللازمة للاحتراق التام ١٥ : ١.

٤ ـ المواد الهيدروكربونية.

تنبعث المواد الهيدروكربونية غير المحترقة أو المحترقة جزئياً مع غازات العادم بالإضافة إلى كميات قليلة منها تتبخر من صندوق المرفق Gear box وخزان الوقود وفتحات الكربريتور أو عند شحن الوقود. والمواد الهيدروكربونية هي عبارة عن مركبات تتكون من الكربون والهيدروجين.

والسبب قد يكون نتيجة لعدم ضبط نسبة الوقود والهواء عند النسبة المطلوبة كيميائياً أو نتيجة التبريد المفاجيء للهب الاحتراق عند اقترابه من سطح ما في المحرك بارد نسبياً مما يسبب خموداً للهب وتكون المواد الهيدركربونية وترسبها ثم خروجها مع غازات الاحتراق في شوط العادم. ومناطق التبريد المفاجيء هذه هي الفراغات المغلقة أو شبه المغلقة عند نهاية غرفة الاحتراق.

وقد تتكون بعض المواد الهيدروكربونية نتيجة ترسبها داخل فتحات المكبس وتخلفها عن الاحتراق ثم خروجها مع غازات الاحتراق في شوط العادم، وللمواد الهيدروكربونية ضرر على الصحة بشكل عام تعتمد على نوعية المركب الهيدروكربوني وقد يسبب بعضها السرطان مثل البنزوبيرين.

٥ ـــ أكاسيد الكبريت.

تتكون أكاسيد الكبريت نتيجة لاحتراق الوقود المحتوى على الكبريت، ويحتوي وقود السيارات عادة على نسبة ١ر٠٪ من الكبريت، وهي نسبة قليلة مقارنة بالوقود المستخدم في محطات القوى الكهربائية على سبيل المثال، لهذا فإن كمية قليلة من أكاسيد الكبريت تنبعث من محركات السيارات. ولكن نظراً لخطورة هذه الغازات ونشاطها وسرعة تحللها في وجود ضوء الشمس إلى مركبات كبريتية خطرة وتفاعلها مع الرطوبة الموجودة في الهواء الجوي لتكوين الأحماض الكبريتية فإنه يلزم الحد من كمية انبعاثها إلى الهواء الجوي.

٦ ـــ مركبات الرصاص والمواد الأخرى.

تضاف مركبات الرصاص مثل رابع إثيل الرصاص لتحسين نوعية الوقود برفع رقمه الاوكتيني لمنع الخبط والفرقعة الناتجة أثناء الاحتراق. كما وتضاف أيضاً كميات من كلوريد الإثيلين وثنائي بروميد الإثيلين لغرض التنقية والتنظيف للمحرك من الرصاص ومركباته بالإضافة إلى المواد الأخرى كالأصباغ والمذيبات والمواد المقاومة للتأكسد. ومعلوم أن لكل هذه المواد مخلفات ضارة وملوثة للبيئة تخرج مع غازات العادم.

وتشكل مركبات الرصاص أخطر هذه المركبات لتأثيرها السيء التراكمي على صحة الإنسان كما سنبين فيما بعد. ولإخلالها في عمل وسائل منع التلوث التي تلحق بالمحرك والتي يلزم لعملها خلو الوقود من الرصاص.

كما وينبعث من محرك السيارات أيضاً مجموعة من الألدهيدات مثل: فورمالدهيد، استيلدهيد بروبالدهيد واكرولين، وتمثل نسبة الفورمالدهيد حوالي ٧٠٪ من الألدهيدات. وتنبعث هذه الغازات من محركات البنزين والديزل سوياً وذلك نتيجة للتأكسد الجزئي للمواد الهيدروكربونية.

وينبعث أيضاً من محركات السيارات كمية كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون تقدر بنسبة ٨٪ من الموجود في الهواء الجوي، وهذا الغاز وإن لم يكن مضراً للصحة فهو على الأقل معطل للوظائف الحيوية، كما ويؤدي وجوده في الغلاف

الجوي إلى ارتفاع في درجة حرارة الطبقة المحيطة بالكرة الأرضية لامتصاصه لبعض الأشعة الشمسية.

٢ ـ ٣ أسباب تكوين وانتشار هذه الملوثات.

تسهم عوادم غازات محركات الاحتراق الداخلي للسيارات مساهمة كبيرة في تلوث البيئة وانتشار كثير من الملوثات التي سبق الإشارة إليها وأهمها غاز أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات وأكاسيد النيتروجين ومركبات الرصاص. إذ أن نسبة ٧٥٪ من أول أكسيد الكربون الموجود في الهواء الجوي مصدرها محركات السيارات، وتشكل نسبة انبعاث المواد الهيدروكربونية في السيارات حوالي ٥٦٪ و ٥١٪ لأكاسيد النيتروجين، وذلك حسب إحصائية عام ١٩٧٠م في الولايات المتحدة الأمريكية، وتكاد تكون معظم مركبات الرصاص صادرة من محركات السيارات.

إن من أهم العوامل التي تزيد من انبعاث الملوثات الصادرة من السيارات ما يلي:

١ ـ عدم العناية التامة بالسيارات من حيث الكشف على المحركات بشكل دوري للتأكد من أداء المحرك وأن عملية احتراق الوقود بداخله تتم بالشكل المطلوب.

٢ ـ عدم اختلاط وتجانس الوقود والهواء في الخلاط (المغذي) مما يؤدي إلى زيادة نسبة الوقود في بعض اسطوانات المحرك وزيادة الهواء في البعض الآخر فيتكون غاز أول أكسيد الكربون والمواد الهيدروكربونية في الاسطوانات الأولى، بينما تصدر الأخرى أكاسيد النيتروجين.

٣ ـ عدم ضبط نسبة الوقود إلى الهواء عند النسبة الكيميائية اللازمة للاحتراق التام مما يسبب انبعاث هذه الملوثات خاصة المواد الهيدروكربونية وغاز أول أكسيد الكربون.

٤ ـ نوعية الوقود المستعمل واحتوائه على الكبريت ومركبات الرصاص والتي تنبعث مع غاز العادم ملوثة للبيئة.

٥ ـ أسباب أخرى ثانوية مثل : تطاير المواد الهيدركروبونية من خزانات الوقود أو من الخلاط أو تسرب بعض نواتج الاحتراق غير التام من المحرك.

٢ ــ ٤ خطورة هذه الملوثات على الإنسان والبيئة.

على الرغم من أننا درسنا أنواع ملوثات الهواء في الفصل الأول، إلّا أننا سنتطرق الآن إلى دراسة الملوثات الغازية المنبعثة من محركات السيارات فقط لما لها من تأثيرات كبيرة على صحة الإنسان وعلى البيئة المحيطة من نباتات وكائنات حية ومواد مختلفة، وتعتمد نسبة تأثير هذه الملوثات على مقدار الجرعة التي يتعرض لها الإنسان والتي تعتمد أساساً على عاملين رئيسيين هما :

١ ــ تركيز المواد الملوثة.

٢ ــ زمن التعرض للملوثات.

وتعرف الجرعة بأنها حاصل ضرب التركيز في الزمن، ولكل ملوث من الملوثات السابقة تأثير مختلف، فالجسيمات الصلبة مثلاً تؤثر على مدى الرؤية وتسهم في ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية بما تمتصه من الأشعة الشمسية، كما وأنها تؤثر على النباتات والأبنية والمواد المختلفة، ويعتمد تأثيرها على نوعية المواد المكونة لهذه الجسيمات، وتكمن خطورة هذه الملوثات في العوامل التالية :

١ ــ الخواص الكيميائية والفيزيائية للجسيمات الصلبة تساعدها على زيادة التأثير.

٢ ــ كون هذه الجسيمات سهلة الترسب.

٣ ــ بعض الجسيمات قد يكون حاملاً للملوثات المختلفة.

ويعتبر تركيز ٧٥ ميكروغرام للمتر المكعب هو المعدل السنوي للهواء الجوي القياسي الذي يجب ألا تزيد نسبة الجسيمات الصلبة فيه عن ذلك.

ولغاز أول أكسيد الكربون خطورة بالغة، ذلك لأنه ــ أولاً ــ من الغازات الثابتة التي قد يستمر وجودها في الهواء من شهرين إلى أربعة أشهر دون أن تتحلل، ثم لأنه سام ويمنع خلايا الجسم من الأوكسجين، وذلك بتفاعله مع الهيموجلوبين الناقل للأوكسجين لخلايا الجسم. وتسبب الزيادة في تركيز غاز أول أكسيد الكربون عن ٧٥٠ جزء في المليون الوفاة.

ومن الأسباب التي تزيد من خطورة هذا الغاز أن قابلية تفاعله مع الهيموجلوبين

تزيد بنحو ٢٠٠ مرة عن قابلية ذوبان الأكسجين بالهيموجلوبين، كما وأنه يكون مركب كربوكسي الهيموجلوبين الثابت التركيب.

وقد جاء أن تركيز ١٥ إلى ٣٠ جزء في المليون من غاز أول أكسيد الكربون تسبب إعاقة للنشاطات العقلية الذهنية. ولقد حددت نسبة وجود هذا الغاز بالهواء الجوي بحوالي ١٠ مليجرام للمتر المكعب أي ٩ جزء في المليون لمدة ثمان ساعات (أو ٤٠ ميكروجرام للمتر المكعب أي ٣٥ جزء في المليون لمدة ساعة واحدة).

كما ولأكاسيد النيتروجين تأثير بين على مدى الرؤية لامتصاصها للأشعة المرئية في الغلاف الجوي، ويسبب وجود ثاني أكسيد النيتروجين خطراً على حياة النباتات، كما ويسبب أيضاً إثارة للجهاز التنفسي للإنسان، وعموماً فإن أكاسيد النيتروجين مهيجة للأنسجة الحية إذا ما استنشقها الإنسان، إذ يمتص الجسم حوالي ٦٠٪ منها، وتتفاعل هذه الأكاسيد مع بخار الماء الموجود في الهواء الجوي لتكون أحماض النيتروجين الخطرة والتي تسقط على الأرض لتؤثر على الحياة والأحياء بتغيير الوسط الطبيعي إلى وسط حمضي غير معتاد. كما وتتفاعل مع المواد الهيدروكربونية في وجود أشعة الشمس لتكوين الضباب الدخاني والذي يشاهد في سماء المدن المزدحمة علامة واضحة على مدى تلويث السيارات للبيئة.

وللمواد الهيدروكربونية تأثيرات مختلفة يعتمد على نشاط وقدرة المركب الهيدروكربوني فتزداد خطورة هذه المواد الهيدروكربونية كلما كانت فعالة ونشطة، فمجموعة الأوليفينات نشطة جداً في حين أن مركبات البنزين الحلقية ضعيفة التفاعل. أما الميثان والذي ينطلق بكميات كبيرة من عادم السيارات فإنه لا يدخل في التفاعلات النشطة، وللايثلين تأثير بين على إعاقة نمو النباتات. كما وأن المركبات الحلقية عديدة النوى تعتبر مساعدة على الإصابة بالسرطان مثل مركب البنزوبيرين والذي تطلق السيارات حوالي ١٠٪ من كميته الموجودة في الهواء. هذا بالإضافة إلى ما ذكر سابقاً من أن المواد الهيدروكربونية وأكاسيد النيتروجين تتفاعل في وجود أشعة الشمس لتكون ضباباً دخانياً كثيفاً.

وعلى الرغم من أن محركات السيارات تصدر كمية قليلة من ثاني أكسيد الكبريت إلا أن هذا الغاز يوجد بكميات كبيرة في الهواء الجوي منبعثاً من مصادر أخرى مثل محطات القوى الكهربائية أو مصافي البترول. ويتفاعل هذا الغاز مع الرطوبة الموجودة في الهواء الجوي مكوناً حمض الكبريتيك الفعال الذي له تأثيرات خطيرة على الأحياء والمواد المختلفة. ويسبب غاز ثاني أكسيد الكبريت التهابات في الحواصل والشعب الهوائية في الجهاز التنفسي للإنسان وينبغي ألا يزيد تركيز هذا الغاز عن ٠٣ر٠ جزء في المليون كمعدل سنوي.

وتعتبر مركبات الرصاص مواداً سامة وتؤدي إلى نقص في كريات الدم الحمراء في جسم الإنسان، كما وأن ترسب الرصاص في نخاع العظام يؤدي إلى إرباك في عمل الجهاز العصبي. وللرصاص تأثير تراكمي في جسم الإنسان إذ لايزول بزوال المصدر الباعث له بل يظل مترسباً في جسم الإنسان إلى آخر حياته، ويتضرر الأطفال منه بشكل مباشر وخطير إذ يضعف لديهم الذكاء ويؤثر على الحالة العقلية. وهناك علاقة وطيدة بين تشوهات الأطفال وتعرض النساء الحوامل لجرعات كبيرة من الرصاص أثناء الحمل، وتشير دراسة قامت بها مصلحة الأرصاد وحماية البيئة في جدة على مدى ارتباط كمية الرصاص الموجود في الهواء بعدد السيارات المستخدمة في المنطقة، كما يبين ذلك جدول ٢ ــ ٥.

جدول ٢ ــ ٥ متوسط تركيز الرصاص في الهواء وفي دم الطلاب في منطقتين مختلفتين في مدينة جــدة

المنطقة	متوسط مرور السيارات (سيارة/ساعة)	متوسط تركيز الرصاص (ميكروجرام/متر³)	متوسط نسبة الرصاص (ميكروجرام/ ١٠٠مم)
مدرسة أبي الدرداء	٤٣٢	٧ر٠	٧ر١٠
مدرسة النعمان بن بشير	٣٦١١	٣٨ر٢	٣ر٩

ويبين الجدول ٢ ــ ٥ أن متوسط التركيز في دم الطلاب في كلتا المدرستين قد وصل إلى الحد الأعلى المسموح به والذي قد يسبب مشاكل صحية وعلى الرغم من أن الفارق بين هذين المتوسطين غير واضح إلا أن ذلك قد يعود لعوامل أخرى غير نسبة وجود الرصاص في الهواء الجوي مثل عادات اللعب والتنزه ونوعية الغذاء لطلاب المدرستين.

وفي الرياض تتراوح نسبة الرصاص بين ١ر٤ إلى ٢ر٠ ميكروجرام/متر مكعب كما أشارت إلى ذلك رسالة ماجستير أعدت في كلية التربية للبنات عام ١٤٠٣هـ.

ومما تجدر الإشارة إليه أن مركبات الرصاص تضاف إلى الوقود في منطقة الخليج العربي بالنسبة العليا المسموح بها عالمياً ٨٤ر٠ جم/لتر، ويعتبر هذا التركيز عالياً مقارنة بالدول الأخرى، ويبين الجدول ٢ ــ ٦ والجدول ٢ ــ ٧ كميات الرصاص التي تضاف إلى البنزين في دول الخليج العربي مقارنة بالدول الأخرى.

جدول ٢ ــ ٦ مواصفات الجازولين في دول الخليج العربي(٥)

الدولة	النوع	الرقم الأوكتيني RON	محتوى الرصاص جم/لتر
السعودية	ممتاز	٩٥	٨٤ر٠
	عادي	٨٣	٨٤ر٠
البحرين	سوبر	٩٨	٨٤ر٠
	ممتاز	٩٠	٨٤ر٠
الكويت	ممتاز	٩٨	٨٤ر٠ ــ ٥٣ر٠
	عادى	٩٠	٨٤ر٠ ــ ٥٣ر٠
قطر	ممتاز	٩٧	٦ر١
	عادى	٩٠	٨٥ر٠

تابع جدول ٢ ـــ ٦

الدولة	النوع	الرقم الأوكتيني RON	محتوى الرصاص جم/لتر
الإمارات	ممتاز	٩٧	٨٤ر٠
	عادى	٩٠	٨٤ر٠
عمان	ممتاز	٩٧	٦٢ر٠
	عادى	٩٠	٦٢ر٠

(*) إسماعيل رشيد، الآثار البيئية للرصاص في الجازولين وتأثيرات إزالته على صناعة التكرير، لقاء عمل فني لخبراء البيئة في الصناعات النفطية العربية، الكويت ١٦ ـــ ٧ نوفمبر ١٩٨٥م.

جدول ٢ ـــ ٧ كميات الرصاص في البنزين في بعض الدول الأوربية في نهاية عام ١٩٨٣م(*)

الدولة	كمية الرصاص (جم/لتر)	ملاحظـــــات
بلجيكا	٤ر٠	سيخفض إلى ١٥ر٠ في ١٩٨٧/١/١م
هولندا	٤ر٠	سيخفض إلى ١٥ر٠ في ١٩٨٧/١/١م
ألمانيا	١٥ر٠	إدخال البنزين الخالي من الرصاص في ١٩٨٦م
النمسا	١٥ر٠	
بريطانيا	٤ر٠	سيخفض إلى ١٥ر٠ في ١٩٨٦م
سويسرا	١٥ر٠	إدخال البنزين الخالي من الرصاص في ١٩٨٦م

(*) نفس المرجع السابق.

٢ ــ ٥ وسائل وطرق التحكم بهذه الملوثات.

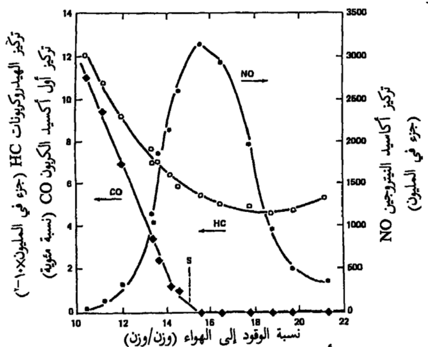
مما سبق يتضح أن العامل الأساسي لتكوين وانبعاث المواد الهيدروكربونية وأول أكسيد الكربون هو عدم ضبط نسبة الهواء إلى الوقود داخل المحرك وأثناء الاحتراق. بينما تتكون أكاسيد النيتروجين عند درجات الحرارة العالية، والتي غالباً ما تكون عند الاحتراق التام. ويبين الشكل ٢ ــ ١ مدى اعتماد هذه الملوثات على نسبة الهواء إلى الوقود. لذا فإنه للحد من كمية انبعاث هذه الملوثات ينبغي جعل نسبة الهواء إلى الوقود أكبر قليلاً من النسبة الكيميائية اللازمة للاحتراق التام. وبلا شك فإن هذه إحدى الوسائل المستخدمة للتحكم بصدور الملوثات الغازية من محركات الاحتراق الداخلي، ولكن العوامل الرئيسية التي تندرج تحتها مثل هذه الوسائل المختلفة تتلخص بما يلي :

أولاً : تأثير ظروف التشغيل وتصميم المحرك على انبعاث الملوثات.

ثانيـــاً : تحسين نوعية وقود السيارات كوسيلة للحد من انبعاث الملوثات.

ثالثـــاً : الوسائل المتبعة لمعالجة غازات العادم.

وفيما يلي شرح مبسط لهذه الاتجاهات الرئيسية وأثرها في الحد من انبعاث الملوثات.



شكل ٢ ــ ١ : تأثير تغيير نسبة الهواء إلى الوقود على انبعاث الملوثات

أولاً : تأثير ظروف التشغيل وتصميم المحرك على إنبعاث الملوثات.

يمكن التحكم في كمية خروج المواد الهيدروكربونية من محركات السيارات بالتحكم بالعوامل التالية :

١ ــ رفع درجة حرارة غازات العادم.

ويتم ذلك أما بتقليل نسبة انضغاط الاسطوانات أو بزيادة السرعة أو بزيادة الضغط داخل المحرك أو بعزل ماسورة العادم.

٢ ــ زيادة نسبة الأكسجين.

وذلك إما بزيادة نسبة الهواء إلى الوقود الداخلة للمحرك أو بإضافة الهواء إلى ماسورة العادم بعد خروجه من المحرك.

٣ ــ زيادة الزمن قبل خروج الغازات إلى الهواء.

ويتم هذا إما بخفض سرعة الغازات في ماسورة العادم أو بزيادة حجم ماسورة العادم ووضع المعوقات لسريان غازات العادم.

كما ويمكن خفض تركيز أكاسيد النيتروجين المنبعثة من محركات السيارات والتي تتكون في الواقع عند درجات الحرارة العالية وبوجود النسبة اللازمة من الهواء، لذا فإن وجودها في غازات العادم يتأثر فيما يلي :

(أ) خفض درجة حرارة الاحتــراق.

ويمكن ذلك بتقليل نسبة انضغاط اسطوانات المحرك أو بخفض درجة حرارة الوقود الداخل للمحرك وبتجنب الخبط الذي قد يسبب رفع درجة الحرارة والضغط ويحول دون إكمال الاحتراق في المحرك كما ويمكن خفض درجة الحرارة أيضاً بإعادة جزء من غازات العادم أو بوجود بخار الماء أو بحفظ الاحتراق بعيداً عن درجة الاحتراق التام.

(ب) تقليل كمية الأكسجين الداخلة للمحرك.

وذلك بزيادة نسبة الوقود إلى الهواء في الخلاط أو باستخدام خليط متجانس أو بتقسيم غرفة الاحتراق.

وعلى أية حال فإن هذه العوامل والمتغيرات متداخلة ومترابطة بحيث أن تغيير واحدٍ منها بالزيادة أو النقص للتحكم في انبعاث ملوث ما قد يؤدي إلى زيادة

تكوين الملوث الآخر، فيجب أيضاً التحكم بها مجتمعة، ودراسة مدى تأثيرها على انبعاث الملوثات المختلفة وهذا مما يجعل طرق التحكم بانبعاث الملوثات عن طريق تغيير ظروف التشغيل والتصميم أمراً غير سهل. ويبين الجدول ٢ ــ ٨ تأثير عوامل التصميم والتشغيل على انبعاث الملوثات. وقد أشير بالأسهم العموديه لبيان أن التأثير كبير، فالسهم إلى أعلى (↑) يدل على الزيادة، والسهم إلى أسفل (↓) يشير إلى النقص، أما السهم الأفقي (↔) فقد استخدم للدلالة على أن التأثير غير كبير، واستخدمت الإشارة (×) لبيان إنعدام التأثير.

جدول ٢ ــ ٨ تأثير بعض عوامل تصميم وتشغيل المحرك على انبعاث الملوثات.

المتغيــر	الهيدروكربونات	أول أكسيد الكربون	أكاسيد النيتروجين
نسبة الهواء/الوقود	↔	↔	↔
الحمل	×	×	↑
السرعة	↓	×	↓↑
ضغط العادم	↓	×	↓
نسبة التضاغط	↑	×	↑
التبريد	↓	↓	↑

وتشمل متغيرات التصميم غرفة المحرك والمكبس ونسبة التضاغط وعمود العادم. والاتجاه السائد في تصميم اسطوانات وغرفة المحرك يركز على عدم وجود الانحناءات والفجوات التي يحتمل أن تكون مناطق تبريد للاحتراق، كما ويلزم فحص مناطق التهريب.

كما وتسعى شركات تصنيع السيارات لخفض نسبة التضاغط، وذلك لتسهيل استخدام وقود ذي رقم أوكتيني أقل. ومعلوم أن ذلك قد يقلل من الحاجة إلى استخدام كميات كبيرة من مركبات الرصاص التي تضاف إلى الجازولين لرفع رقمه

الأوكتيني. كما ويساعد تخفيض نسبة الانضغاط على خفض درجة الحرارة داخل المحرك الأمر الذي يساعد على تقليل نسبة انبعاث أكاسيد النيتروجين. ومنذ السبعينات تستخدم نسبة تضاغط حوالي ٨ : ١.

ومن متغيرات التصميم أيضاً حقن الهواء أو الوقود داخل المحرك. وقد استخدم أسلوب حقن الهواء في المحركات الحديثة وذلك باستخدام صمام خاص. ومن أهداف هذا الحقن :

١ ـــ إزالة غاز الاحتراق المتبقي من الدورة السابقة.
٢ ـــ تحسين عملية الاشتعال.
٣ ـــ تكوين دوامات في اسطوانات الاحتراق والتي تساعد على تمام الاحتراق وتفريغ الغازات.

كما وقد جربت مصانع السيارات العالمية طريقة إعادة جزء من غازات العادم إلى المحرك ثانية، وتؤدي هذه العملية إلى تخفيض نسبة أكاسيد النيتروجين المنبعثة وذلك بانخفاض درجة حرارة الغازات، وقد وجد أنه بإعادة ٥٪ من غازات العادم يقل تركيز أول أكسيد النيتروجين من ٢٣٣٠ جزء في المليون إلى ١٤٠٠ جزء في المليون ويقل إلى ٤٨٠ جزء في المليون عند إعادة ١٠٪ من غازات العادم.

وعلى أية حال فإن وسائل وطرق الحد من انبعاث الملوثات من السيارات عن طريق التحكم بمتغيرات التشغيل والتصميم ليست فقط أمراً غير سهل المنال، بل لا تلاقي إقبالاً تجارياً عليها، ذلك أن معظم هذه التحسينات المطلوبة قد تسبب انخفاضاً ملوحظاً في كفاءة المحرك وزيادة استهلاك الوقود، وتقدر الزيادة في استهلاك الوقود في الولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٩٧٣م بحوالي ١٥٪ نتيجة لتغيير شركات تصنيع السيارات في ظروف عمل وتصميم محركات الاحتراق الداخلي وملحقاتها. والاتجاه العالمي السائد الآن هو محاولة الإبقاء على تصميم المحركات مع امكانية استخدام وحدات أخرى إضافية لتقليل نسب خروج الملوثات، وهذا ما سيتضح في الوسائل التالية.

ثانيـاً : تحسين نوعية وقود السيارات كوسيلة للحد من انبعاث الملوثات.

يعتمد وجود غاز ثاني أكسيد الكبريت ومركبات الرصاص اعتماداً كلياً على نوعية الوقود المستخدم. فيمكن إزالة انبعاث غاز ثاني أكسيد الكبريت تماماً في حالة خلو الجازولين من الكبريت، وعلى أية حال فإن محتوى الكبريت في الجازولين وبالتالي كمية انبعاث غاز ثاني أكسيد الكبريت من مركبات الاحتراق الداخلي للسيارات ضئيلة.

ويختلف الأمر في حالة مركبات الرصاص ذلك أن معظم ما بالهواء الجوي من مركبات هذا العنصر أساساً من محركات الاحتراق الداخلي للسيارات خاصة في المناطق الخالية من صناعة البويات والأصباغ والبطاريات ولحام الحديد وما شابهها من صناعات يستخدم فيها الرصاص بكميات كبيرة. إن مركبات الرصاص هذه وأهمها رابع إثيل الرصاص تضاف للجازولين لتحسين أدائه، ومنع الفرقعة التي قد تحدث عند انخفاض الرقم الاوكتيني للجازولين إذ أن هذه المركبات تساعد على رفع الرقم الاوكتيني للجازولين. وقد حددت منظمة الصحة العالمية، وهيئات حماية البيئة أعلى حد لإضافة مركبات الرصاص هو ٠٫٨٤ جرام منها لكل لتر من الجازولين. وكما هو واضح من الجدولين ٢ ــ ٦، ٢ ــ ٧ فإن دول الخليج العربي وكذلك معظم الدول العربية تستعمل هذا الحد الأعلى لإضافة مركبات الرصاص، بينما يسود العالم اليوم اتجاه عام نحو تخفيض نسبة الرصاص في وقود السيارات.

ففي الولايات المتحدة الأمريكية حددت منظمة حماية البيئة نسبة ٠٫٤٥ جم/لتر كحد أعلى لإضافة مركبات الرصاص في عام ١٩٧٣م، ومنذ أكتوبر ١٩٨٠م خفضت هذه النسبة إلى ٠٫١٣ جم/لتر. وقد أنتج الجازولين الخالي من الرصاص منذ يوليو عام ١٩٧٤م. وفي مارس عام ١٩٨٥م أعلنت منظمة حماية البيئة التخلص من إضافة الرصاص كلياً في وقود السيارات في عام ١٩٩٠م. على أن يتم ذلك بالتدريج على النحو التالي:

- يوليو ١٩٨٥م ستنخفض كمية الرصاص المضافة إلى ٠٫١٣ جم/لتر.
- يناير ١٩٨٦م ستنخفض كمية الرصاص المضافة إلى ٠٫٠٣جم/لتر.
- يناير ١٩٨٨م ستنخفض كمية الرصاص المضافة إلى ٠٫٠١ جم/لتر.

أما في اليابان فمنذ عام ١٩٧٥م أصبحت قوانين إضافة الرصاص للجازولين على النحو التالي :

ـــ الحد الأعلى لإضافة مركبات الرصاص في البنزين الممتاز هو ٣١ر٠ جم/لتر.

ـــ الحد الأعلى لإضافة مركبات الرصاص في البنزين العادي هو ٠٢ر٠ جم/لتر.

وكذلك الحال في معظم الدول الأوربية كما هو واضح في الجدول ٢ ـــ ٧ السابق، فإن الحد الأعلى لإضافة مركبات الرصاص في وقود السيارات هو ٤ر٠ جرام/لتر وسينخفض في كثير من دول أوروبا الغربية إلى ١٥ر٠ جم/لتر في عام ١٩٩٠م، وقد وصل بالفعل هذا الحد حالياً في بعض الدول مثل ألمانيا والنمسا وسويسرا وتسعى هذه الدول وغيرها لإدخال البنزين الخالي من الرصاص للأسواق.

إن عملية الاستغناء عن إضافة مركبات الرصاص في مصانع البترول لانتاج الجازولين عالي الكفاءة وإن كانت مكلفة وغير سهلة بعض الشيء إلا أنها تستحق التطبيق والسعي في تنفيذها لحفظ وحماية البيئة من هذا الملوث الخطير، ووسيلة أيضاً للحد من انبعاث الملوثات الغازية الأخرى من محركات السيارت، ذلك أن معظم الوسائل المستخدمة عالمياً للحد من انبعاث ملوثات السيارات ـــ والتي سنبينها في هذا الفصل ـــ تتعطل بوجود مركبات الرصاص في الوقود. فإزالة مركبات الرصاص من وقود السيارات أمر إيجابي إذن، ذو فوائد جمة على صحة البيئة والمجتمع. وللوصول لهذا الهدف يتحتم العمل على خفض كمية مركبات الرصاص المضافة حالياً للجازولين كخطوة عاجلة في طريق التخلص من هذا المركب الضار، علماً بأنه بإمكان مصافي البترول أن تقلل من إضافة هذه المركبات بتغيير ظروف التشغيل دونما أي رأس مال إضافي الزامي، وذلك برفع كفاءة التشغيل في وحدات التهذيب، وبإضافة بعض المركبات الحلقية للجازولين والمنتجة في المصفاة أو بإضافة بعض المركبات الاكسيجينية مثل مادة ميثيل ثالثي بيوتيل إيثر MTBE.

كما وتجدر الإشارة إلى أن أبحاثاً كثيرة لا تزال قائمة لإيجاد وقود بديل للجازولين أكثر أمناً وأقل تلويثاً للبيئة، ففي البرازيل وكوبا والفلبين يستخدم الإيثانول كوقود للسيارات بشكل غير منتظم وبكميات قليلة مقارنة بإستهلاك الجازولين.

كما ويستخدم الميثانول أيضاً وقوداً للسيارات في مناطق مختلفة، غير أن ظاهرة استخدام هذه المركبات الكحولية (الميثانول والإيثانول) لا تلاقي إقبالاً صناعياً كبيراً لافتقار هذه المركبات للمزايا الفنية التي يتمتع بها الوقود الهيدروكربوني التقليدي (الجازولين) وأيضاً لارتفاع أسعارها، إضافة إلى أنها تحتاج محركات من نوع خاص أو إضافة تعديلات كبيرة على المحركات المستخدمة حالياً. وعلى أية حال لا يزال البحث عن الوقود المثالي البديل مستمراً.

ثالثاً : الوسائل المستخدمة لمعالجة غازات العادم.

عندما لم تنجح كثيراً طرق التحكم في ظروف تشغيل وتصميم المحرك للجمع بين تخفيض انبعاث الملوثات والمحافظة على استهلاك الوقود والرفع من طاقته التشغيلية لجأت كثير من شركات تصنيع السيارات ومراكز الأبحاث المختلفة للبحث عن طرق ووسائل أخرى يمكن بها الحصول على طاقة محركة كبيرة وتلوث محدود. فمنذ السبعينات الميلادية ظهر الاتجاه نحو محاولة معالجة غازات العادم بعد تكونها في محركات الاحتراق الداخلي للسيارات، وهذا بلا شك أعطى حرية لابأس بها لمصممي المحركات للاهتمام بالطاقة التشغيلية واستهلاك الوقود. وهناك وسائل كثيرة لمعالجة الملوثات الموجودة في غازات العادم لعل أهمها :

- وسائل لإزالة (فصل) الملوثات.
- وسائل مساعدة لإتمام عملية الاحتراق.
- استخدام محرك مساعد.
- وسائل أكسدة غازات العادم.
- وسائل لاختزال غازات العادم.
- استخدام المحول المحفز للجمع بين الأكسدة والاختزال.

ويمكن إزالة الملوثات الغازية من غازات العادم بامتصاصها بواسطة بعض المركبات الكيميائية، وقد استخدم خامس أكسيد الفانديوم لهذا الغرض لفعاليته ونشاطه، إلا أنه وغيره من المركبات الأخرى يتفاعل مع الغازات الملوثة ويقل بذلك نشاطه وفعاليته مع كثرة الاستعمال، وقد يصعب بعدها إعادة استخدامه، وهذه الطريقة لاشك غير عملية نظراً للحاجة المستمرة للتنظيف وأحياناً تغيير المركبات

الكيميائية المستخدمة كوسيط للإزالة. أما بالنسبة للجسيمات الصلبة وخاصة جسيمات مركبات الرصاص فقد استعمل لها فاصل خاص كما هو مبين في الشكل ٢ ـــ ٢، والذي له كفاءة عالية قد تصل إلى ٩٠٪، غير أنه لاتزال الحاجة قائمة لتنظيف هذا الفاصل بشكل دوري.

ولعل إحدى الوسائل التي استخدمت في سبيل المساعدة لإتمام عملية الاحتراق داخل المحرك تتلخص بتسخين كمية من الهواء عن طريق تبادل الحرارة مع المحرك وإدخالها مع الوقود لتزيد من فعالية الاحتراق، ولاتعد هذه الطريقة حلاً جذرياً لإزالة الملوثات إذ أنها بلا شك تسهم في زيادة انبعاث أكاسيد النيتروجين. وهناك طرق أخرى استخدمت كوسائل في سبيل المساعدة على إتمام عملية الاحتراق مثل نظم حقن الهواء ونظم حقن الوقود. ففي نظم حقن الهواء تدخل كمية من الهواء إلى ماسورة العادم للمساعدة على أكسدة الهيدروكربونات وأول أكسيد الكربون، ويحقن الوقود في المحرك للتحكم التام بكميته اللازمة للاحتراق.

كما وقد جرب أيضاً تركيب انبوب خلف المحرك وفي شبكة العادم في داخل هذا الأنبوب شمعة احتراق لحرق غازات العادم والمواد الهيدروكربونية غير المحترقة أو المحترقة جزئياً، وذلك قبل انبعاثها إلى الهواء الجوي، وهذا ما يعرف بطريقة استخدام المحرك المساعد، ولاتلاقي هذه الطريقة اقبالاً صناعياً نظراً لخطورتها وتكاليفها، كما وأنها قد تزيد من كمية انبعاث أكاسيد النيتروجين، بالإضافة إلى ذلك فإنها تسبب في ارتفاع درجة حرارة المحرك والمنطقة المحيطة به.

ولقد اتجهت أيضاً كثير من الأبحاث نحو استخدام المحولات الكيميائية كوسائل للحد من تركيز الملوثات المنبعثة من السيارات بتحليلها أو تحويلها إلى مركبات أخرى غير ضارة، ومن هذه المحولات : المحول المؤكسد، المحول المختزل، ثم المحول المؤكسد المختزل، وهذه المحولات تستخدم المحفزات الكيميائية في عملها. ولقد استخدمت المحفزات بكثرة في الصناعات الكيميائية المختلفة غير أن استخدامها في أكسدة واختزال غازات عادم السيارات يواجه مشكلة صعبة جداً، ذلك أن التفاعلات الصناعية المحفزة عادة ماتكون عند

درجات حرارة وانسياب ثابتة، ويكون تركيز المواد المتفاعلة عالياً وثابتاً، ولكن في حالة عادم السيارات فإن معدل الانسياب ودرجة الحرارة تتفاوت تفاوتاً كبيراً بين حين وآخر تبعاً للأطوار المختلفة لتشغيل المحرك. فدرجة حرارة العادم في الشتاء مثلاً عند بداية التشغيل تكون حوالي صفر درجة مئوية، ثم ترتفع حتى تصل ٥٩٠ درجة مئوية في الحالات الاعتيادية، ثم تتذبذب بين هذه الدرجة وبين درجة حرارة ١٠٩٠ درجة مئوية في بعض حالات القيادة من صعود أو هبوط أو خلافه، وكذلك يتغير تركيز الملوثات المنبعثة مع ظروف التشغيل، فغاز أول أكسيد الكربون يتغير تركيزه من ٩ في المائة عند بداية التشغيل إلى ١ في المائة عندما يسخن المحرك، وهذا التغيير في نسبة انبعاث أول أكسيد الكربون تغييراً غير منتظم، وكذلك الحال بالنسبة لتركيز الغازات الأخرى ومعدلات إنسيابها ودرجة حرارتها. ومن معوقات استخدام المحفزات أيضاً هو قصر عمر المحفز التشغيلي ومدى تحمله وارتفاع سعره.

وعلى أية حال فباستخدام المحولات المؤكسدة يمكن تحويل المواد الهيدروكربونية إلى كربون وهيدروجين واللذان يتحولان إلى ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، كما ويتأكسد غاز أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون. ويلزم لعملية التأكسد هذه إضافة غاز الأكسجين وذلك بحقن الهواء داخل المحول والذي يوضع عادة في شبكة العادم. ويمكن بواسطة هذه المحولات تقليل نسب انبعاث المواد الهيدروكربونية وأول أكسيد الكربون غير أن أكاسيد النيتروجين يزيد بلاشك انبعاثها ذلك أن درجة حرارة غازات العادم ترتفع حوالي ٩٥ درجة مئوية تقريباً نتيجة لتأكسد غازات العادم في الحالات الاعتيادية مما يزيد في الحاجة لتخفيض نسبة انبعاث هذا الملوث، وهذا ما يتم في المحولات المختزلة.

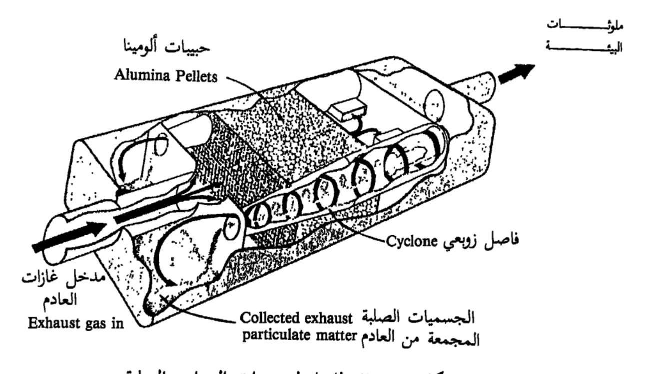
ففي المحولات المختزلة يتم فصل الأكسجين من أكاسيد النيتروجين بتحللها بوجود العامل المساعد اللازم فيتكون النيتروجين عديم الضرر، والأكسجين الذي قد يتفاعل مع ما تبقى من أول أكسيد الكربون لتحويله إلى ثاني أكسيد الكربون.

وهناك تصاميم مختلفة لهذه المحولات المؤكسدة والمختزلة منها التصميم الشبكي أو التصميم ذو الكريات الصغيرة. ويتكون النوع الشبكي من مقطع شبكي

به فتحات على شكل خلايا النحل مصنوع من السيراميك محاط بغلاف من المعدن المستخدم كعامل مساعد لعمليتي الإختزال أو الأكسدة، ثم يغلف بغطاء من الفولاذ. وغالباً ماتكون الكريات الصغيرة المستخدمة في النوع الآخر من المحولات مكونة من العامل المساعد نفسه والتي توضع داخل مقطع من الفولاذ ومثبتة لمنع انتقالها أثناء حركة غازات العادم خلالها.

ومنذ عام ١٩٧٨م تمكنت شركتي فورد وجنرال موتورز من استخدام محولات تجمع بين الأكسدة والاختزال، إذ أن بإمكانها الحد من انبعاث كل من المواد الهيدروكربونية وأول أكسيد الكربون من ناحية، وأكاسيد النيتروجين من ناحية أخرى، ولهذه المحولات ثلاث ممرات وجزئين رئيسيين كما هو مبين في شكل ٢ ـــ ٣.

ومما تجدر الإشارة إليه في معرض الحديث عن المحولات المحفزة أن جميع هذه المحولات لايمكن أن تعمل بوجود مركبات الرصاص في الجازولين، ذلك أن جسيمات الرصاص ومركباته المختلفة والمنبعثة مع غازات العادم تخل من عمل العامل المساعد الموجود المستخدم في عمليتي الإختزال والأكسدة وتضعف من فعاليته، ويكفي استهلاك كمية خزان واحد للسيارة المتوسطة من إيقاف عمل هذه المحولات نهائياً في حالة احتواء الوقود على مركبات الرصاص بالكمية المستخدمة في دول الخليج العربي (٨٤ر٠ جم/لتر)، لذا فإن السيارات التي تصدر لهذه المناطق لاتحتوي على هذه المحولات المحفزة، وهذا بلا شك من أحد أضرار وجود مركبات الرصاص في الجازولين إلى جانب أضرار الرصاص الصحية الأخرى والتي أشير إليها سابقاً. ولهذه الأسباب مجتمعة انتجت بعض الدول العالمية نوعاً خاصاً من الجازولين لا يحتوي على الرصاص، والأمل كبير في أن تحذوا دول الخليج العربي وغيرها من الدول العربية لانتاج مثل هذا الوقود محافظة على صحة البيئة والأحياء من هذا العنصر الخطير الضار، ومن سائر الملوثات الغازية المنبعثة من السيارات والتي تقف مركبات الرصاص حائلاً دون التلخص التام منها.



شكل ٢ ــ ٢: فاصل لجسيمات الرصاص الصلبة

غرف خلط

المحول
المؤكسد
العادي

ركيزة

غلاف

مدخل

دخول العادم

محول ثلاثي الممرات

هواء من الطلمبة

شكل ٢ ــ ٣ : المحول المحفــز

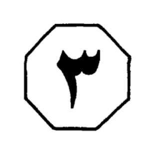
٢ ـ ٦ خاتمـــة.

إن العامل الرئيسى لتلوث الهواء والبيئة هو وجود المصانع والمنشآت الإنتاجية والاستخدام المتزايد للوقود، إذ تمثل العمليات التي يحترق فيها الوقود السبب الأكبر لتلوث الهواء، وتشكل الغازات الصادرة من محركات الاحتراق الداخلي للسيارات أكبر وأخطر ملوث للبيئة نظراً لانتشارها وكثرة اعدادها، وعدم توفر العناية الكافية من صيانة ومراقبة على المحركات، إضافة إلى ارتفاع مستوى مركبات الرصاص في الوقود المستخدم. وللأسف، فإن الجازولين في دول الخليج العربي يمتاز بارتفاع نسبة مركبات الرصاص فيه إلى الحد الأعلى المسموح به عالمياً (٨٤ر. جم/لتر) رغم توفر الخبرات العلمية والفنية اللازمة لتخفيض هذا المستوى العالي من الرصاص أملاً بالوصول إلى إنتاج جازولين خال من الرصاص على نفس النهج الذي سلكته أمريكا واليابان وبعض الدول الأوروبية.

إن الدعوة إلى إنتاج وقود للسيارات خال من الرصاص تهدف في باديء الأمر التغلب على وجود هذا العنصر الضار في الهواء والذي بلغ تركيزه في الهواء الجوي في المدن الرئيسية في الخليج العربي أعلى من الحد المسموح به، كما وأن عدم وجوده في الجازولين يمكن من استخدام المحولات المحفزة والتي تسهم مساهمة كبيرة في الحد من الملوثات الأخرى الخطيرة التي تنبعث من السيارات مثل المواد الهيدروكربونية وغاز أول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين.

إن قضية تلويث السيارات للبيئة وخطورة هذه الملوثات الصادرة منها وانتشارها في كافة الأنحاء وبلوغها أعلى المستويات في دول الخليج العربي، قضية لاتحتاج إلى كثير إثبات، ذلك أن حركة السير في كثير من المدن الرئيسية في دول الخليج العربي لا تقل كثيراً عن بعض المدن في الدول الأوربية والأمريكية والتي تعاني من تلويث السيارات للهواء. كما وأن السيارات تعد المصدر الأساسي والرئيسي لتلوث الهواء في المنطقة، تقل عنها بكثير المنشآت الصناعية، ذلك أن منشآت منطقة الخليج العربي الصناعية حديثة ومجهزة بأحدث وأفضل وسائل التحكم بالملوثات. كل هذا يدعو إلى اتخاذ التدابير اللازمة والعاجلة للحد من تلويث وإفساد السيارات للهواء الجوي والضروري للإنسان والذي يستنشق منه يومياً ما يقارب ١٥ كجم.





الفصل الثالث
ملوثات الماء
وكيفية الحصول على ماء الشرب

٣ ــ ١ مقدمــة.

الماء مثل الهواء يعتبر أحد المكونات الضرورية للحياة على الكرة الأرضية فهو ضروري للإنسان والحيوان والنبات على حد سواء. ويشكل الماء ما يقارب ٨٠٪ من مساحة الكرة الأرضية وهو المكون الأساسي للكائنات الحية وقد وصفه سبحانه وتعالى حيث قال ﴿**وجعلنا من الماء كل شيء حيٍّ**﴾.

تتنفس الكائنات البحرية الحية الأكسجين الذائب في الماء، لذلك فإنه لابد من المحافظة على تركيزه في الماء. ويتم ذلك عن طريق المحافظة على عدم تلوث مياه المسطحات المائية سواءً مياه الأنهار أو البحيرات أو البحار أو المحيطات لما للملوثات سواء الكيميائية أو الكائنات الحية الدقيقة من أثر فعَّال في تقليل كمية الأكسجين في هذه المسطحات المائية مما يهدد الحياة البحرية. لذلك كان لابد من الاهتمام بدراسة مصادر تلوث المسطحات المائية وطرق مكافحته.

وحيث أن الإنسان يحتاج في شربه وأكله إلى مياه نقية عذبة غير ملوثة بالمواد الكيميائية أو الكائنات الحية الدقيقة فإنه لابد من دراسة وسائل تنقية المياه الجوفية من الملوثات وكذلك دراسة طرق تحلية مياه البحر حيث تعتبر مصدراً مهماً للحصول على المياه النقية العذبة.

٣ ــ ٢ مصادر تلوث الماء.

لعل أهم مصادر تلوث الماء هو تدفق مياه المجاري والمخلفات والمياه الصناعية والبترول إلى المسطحات المائية كما أن المبيدات الكيميائية ونفايات المصانع وملوثات الهواء تصل إلى المسطحات المائية عن طريق مياه الأمطار أو الرياح عند ملامستها لسطح الماء. ولعل القاسم المشترك بين هذه الملوثات هو تأثيرها على تركيز الأكسجين في الماء ويتم ذلك عن طريق نمو الكائنات المائية الدقيقة مثل البكتريا في المياه الملوثة بمياه المجاري حيث تستهلك هذه الكائنات الأكسجين المذاب في الماء لتكسير المواد الكيميائية العضوية الملوثة للماء مما يؤثر على تركيز الأكسجين في الماء ويهدد الحياة البحرية. كما أن الملوثات الكيميائية السامة مثل العناصر الثقيلة والمبيدات وغيرها تصل إلى الكائنات الحية مثل الأسماك والنبات مما يؤثر على نموها وتكاثرها وكذلك تؤثر على الإنسان المستهلك النهائي لهذه الكائنات. هذا بالإضافة إلى الأخطار المباشرة على الإنسان من تعرض مياه الشرب للتلوث سواء بالكائنات الحية الدقيقة أو بالكيميائيات السامة.

وفيما يلي أهم مصادر تلوث المياه :

١ ــ البترول (النفط).

مع زيادة انتاج البترول وتصديره فإن المسطحات المائية التي تمر من خلالها ناقلات البترول تؤدي إلى تلوثها إمَّا عن طريق الحوادث التي تتعرض لها تلك الناقلات مما يؤدي إلى تسرب البترول أو إلى إلقاء الماء الموجود في مستودعات الاستقرار للناقلات والذي يحمل كميات من البترول. وبذلك تعتبر ناقلات البترول من أخطر مسببات تلوث البحار والمحيطات حيث انه بعد إفراغ حمولتها من البترول ومنتجاته فإنها تملأ خزاناتها بماء البحر لتستعمله كثقل لحفظ توازنها. وعند مغادرتها الميناء، تفرغ حمولتها من هذا الماء الملوث بالبترول في البحر. وتدل الدراسات على أن ناقلات البترول تلقى بحوالي ١٪ من حمولتها من البترول ومنتجاته في البحر. وبذلك فإن ما يلقى في البحار يومياً يقارب عشرين ألف طن من البترول ومنتجاته. بالإضافة إلى ذلك فإن مصافي البترول تلقى المياه المستهلكة في عمليات التكرير في المسطحات المائية. كما أن التنقيب وإنتاج البترول في

عرض البحر يعتبر أحد مصادر التلوث، كما حدث من تسرب البترول من آبار النوروز التي سببت بقع زيت كبيرة في مياه الخليج العربي عام ١٤٠٣هـ وذلك أثناء الحرب العراقية الإيرانية.

يشكل البترول المتسرب إلى المسطحات المائية طبقة رقيقة. حيث تدل الدراسات بأن الطن الواحد من البترول يغطي مساحة قدرها ١٢ كيلو متر مربع. وهذا يؤدي إلى تسمم بعض الطيور البحرية مباشرة، كما تتعرض الكائنات البحرية الأخرى إلى أخطار جسيمة سببها قلة تركيز الأكسجين في الماء. حيث أن هذه الطبقة البترولية تمنع الأكسجين الجوي من الوصول إلى الماء مما يقلل نسبة الأكسجين في الماء، كما أن جزءاً من الأكسجين، المذاب فيه يستهلك في أكسدة هذه الطبقة البترولية، وهذا يؤثر على الحياة البحرية.

٢ ــ مياه المجاري.

إن قذف مياه المجاري في المسطحات المائية يعتبر ولاشك من أكبر مصادر تلوث الماء وذلك لما تحمله هذه المياه من مواد عضوية تساعد على نمو الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتريا المسببة للأمراض. كما أن وجود هذه المواد العضوية يستهلك جزءاً من الأكسجين المذاب في الماء عن طريق أكسدة هذه المواد في وجود البكتريا التي تساعد على حدوث الأكسدة. وهذا يؤثر على الكائنات المائية الحية من أسماك ونبات. ومن المعروف أن الحد الأدنى لبقاء الكائنات المائية حية إذا كان الماء يحتوي على ٣ إلى ٤ أجزاء في المليون من الأكسجين المذاب. لذلك إذا استطعنا أن نحافظ على هذه النسبة من الأكسجين فإنه لاخوف من تلوث الماء. الجدير بالذكر أن المسطحات المائية تستطيع تعويض الأكسجين من الغلاف الجوي، بفعل الرياح والأمواج. ولكن إذا كان وصول مياه المجاري إلى المسطحات المائية يفوق قدرة الماء على الحصول على الأكسجين فإنه يحدث نقص في تركيز الأكسجين ومن ثم حدوث التلوث وتعرض الكائنات المائية الحية للخطر.

وحيث أن الكائنات المائية الدقيقة مثل البكتريا المؤكسدة تستخدم الأكسجين المذاب في الماء لتكسير المواد العضوية وتحليلها، فإنه إذا قلت كمية الأكسجين

المذاب في الماء إلى درجة كبيرة يؤدي إلى ضعف الكائنات الدقيقة المسؤولة عن تحلل المواد العضوية الموجودة في مياه المجاري مما يؤدي إلى فقد قدرتها على التكسير السليم مما يؤدي إلى تكسير هذه المواد إلى نواتج ضارة وبالتالي يتعفن الماء وينبعث منه روائح كريهة تشتمل على غاز كبريتيد الهيدروجين.

بالإضافة إلى ذلك فإن مياه المجاري تحتوي على كثير من المخلفات الكيمائية مثل المنظفات والصابون وغيرها. وقد اتضح أن بعض المنظفات يحدث رغاوي في مياه المجاري والأنهار يصعب تحللها بيولوجياً الأمر الذي يؤدي إلى تلوث المسطحات المائية بشكل واضح بالإضافة إلى ذلك فهي سامة للكائنات البحرية الحية. لذلك فقد تم استبدال هذه المنظفات في كثير من الدول بمنظفات قابلة للتحلل البيولوجي مثل سلفات الألكيل أو ألكيلات بنزين سلفونات التي تكون فيها مجموعة الألكيل غير متفرعة.

هذا ويجري الاتجاه حالياً للتخلص من مشكلة مياه المجاري نهائياً وذلك بتنقيتها ومعالجتها مما يؤدي إلى الإستفادة من مياهها المعالجة في ري المزارع وكذلك يستفاد من السماد المتخلف أيضاً في الزراعة. هذا وسوف نتناول هذا الموضوع بشيء من التفصيل في الفصل الرابع.

٣ ـ المبيدات.

للمبيدات أهمية كبيرة في زيادة كفاءة الإنتاج الزراعي وتتمثل في القضاء على الحشرات والفطريات والأعشاب الضارة، كما أن لهذه المبيدات آثاراً سيئة على تلوث البيئة سواء الهواء أو الماء. فبعد رش النباتات بهذه المبيدات فإنها تصل إلى المسطحات المائية عن طريق مياه الأمطار ومجاري الصرف. بالإضافة إلى ذلك فإن هذه المبيدات وخاصة المبيدات الحشرية تصل إلى المسطحات المائية مباشرة عند رش البحيرات أو الأنهار للقضاء على الحشرات. كما تصل إلى المسطحات المائية عن طريق الأمطار أو الرياح بعد رش الهواء للقضاء على الحشرات.

عند وصول هذه المبيدات إلى المسطحات المائية فإن ذلك يؤثر على الكائنات البحرية الحية سواءً الحيوانية أو النباتية كما يؤثر على الطيور المائية. وقد

أثبتت الدراسات وجود هذه المبيدات في خلايا الكائنات البحرية الحية مما يؤدي في بعض الأحيان إلى موت هذه الكائنات. ولقد امتد أثرها إلى الإنسان الذي يتناول هذه الكائنات وخاصة الأسماك. كما أن هذه المبيدات قد تسبب ضرراً مباشراً للإنسان من جراء تناول المواد الغذائية (النباتات) التي رشت بهذه المبيدات.

وتزداد خطورة هذه المبيدات كلما كانت ثابتة وغير قابلة للتفكك. ومن الأمثلة عليها هو د. د. ت DDT وهو من المبيدات الحشرية السامة والملوثة للبيئة بسبب ثباته وعدم تفككه لفترات طويلة، لذلك فإنه لم يعد يستعمل كما كان من ذي قبل. وقد استبدل بمركبات الفوسفات العضوية أو الكرباماتء. كما استبدلت ألكيلات الزئبق كمبيدات للفطريات بمشتقات ألكوكسي وفينل زئبق حيث أنها أقل ثباتاً ولا تدوم طويلاً وبالتالي تتفكك ويكون أثرها في تلوث الهواء أقل. هذا وسوف نوضح أنواع وأضرار هذه المبيدات كما سنوضح الحلول الواجب اتباعها في الفصل الخامس.

٤ ــ الأمطار الحمضيــة.

إن المكونين الرئيسيين للأمطار الحمضية هما حمض الكبريتيك وحمض النيتريك. وقد سبق وأن وضحنا في الفصل الأول بأنهما يتكونان من أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين في وجود الماء. وتتكون هذه الأكاسيد على شكل غازات تصدر من المخلفات الصناعية ومن احتراق الوقود احتراقاً غير كامل كما يحدث في عوادم السيارات والمصانع ومحطات الكهرباء.

هذا وقد تسبب الأمطار الحمضية تغير الرقم الهيدروجيني pH (يعبر عن تركيز البروتون أو الحمض) في المسطحات المائية مما يؤثر على الكائنات المائية الحية حيث يؤدي في بعض الأحيان إلى موت هذه الكائنات. إضافة إلى الأضرار التي تسببها الأمطار الحمضية على النباتات البرية وفي تآكل مواد البناء والمعادن.

٥ ــ المياه الصناعية.

يقصد بالمياه الصناعية، المياه التي تستخدم للتبريد في المصانع ومحطات توليد الطاقة الكهربية والمحطات النووية. ولاشك بأن تسرب مياه مرتفعة الحرارة إلى،

الأنهار أو البحار سوف يؤثر على الكائنات البحرية الحية وذلك لأن الماء الساخن يحتوي على كمية أقل من الأكسجين، كما ان إرتفاع درجة حرارة الماء يؤثر تأثيراً مباشراً على الكائنات البحرية حيث أن بعضها لا تلائمها المياه الدافئة. هذا بالإضافة إلى ماقد تحتويه المياه الصناعية من مواد كيمائية كمخلفات صناعية ملوثة للبيئة. لذلك فلابد من تحويل المياه الصناعية إلى حلقات مغلقة لاتصب في المسطحات المائية وتلوثها.

٦ ـــ المعادن الثقيلــة.

تصل مركبات المعادن الثقيلة إلى المسطحات المائية عن طريق المبيدات المحتوية على المعادن الثقيلة وكذلك عن طريق المخلفات الصناعية ومخلفات الوقود الناتجة من المصانع أو وسائل النقل. بالإضافة إلى ما يصل إلى المسطحات المائية من معادن ثقيلة مصدرها طبيعي وذلك من البراكين. كما أن الصخور والتربة يحتويان على أملاح المعادن الثقيلة، وعند تعرضها للظروف الجوية المختلفة ونزول المطر فإن كاتيونات هذه المعادن تتحرر وتلوث المسطحات المائية، ومن أخطر مركبات المعادن الثقيلة والتي تنتشر بشكل واسع هي كل من مركبات الزئبق والرصاص والكادميوم والنحاس والكروم والكوبلت والنيكل والزنك والزرنيخ والبيريليوم.

وتختلف العناصر الثقيلة عن غيرها من الملوثات بأن معظمها له الصفة التراكمية. حيث يتراكم في أجسام الحيوانات المائية مثل الأسماك والطيور المائية وفي أجزاء النباتات المختلفة حتى يصل إلى تراكيز عالية، عندها تبدأ أثار التسمم بالمعادن الثقيلة في الظهور مما يهدد بقاء هذه الكائنات. كما أن مركبات هذه المعادن الثقيلة تصل إلى الإنسان عن طريق تناوله الأسماك التي تحتوي خلاياها على مركبات هذه المعادن.

ومن أهم مركبات المعادن الثقيلة الملوثة للمسطحات المائية ما يلي :

(أ) مركبات الزئبق.

يحدث التلوث بمركبات الزئبق عن طريق المبيدات الفطرية التي تحتوي على معدن الزئبق وكذلك من المخلفات الصناعية الناتجة من مصانع الأصباغ ومصانع

الزئبق ومركباته وغيرها. فعلى سبيل المثال تلقى الصناعات الأمريكية أكثر من ٥٠٠ طن سنوياً من مركبات الزئبق في المسطحات المائية. وعلى الرغم من أن الحد المسموح به هو ٠٫٥ جزء في المليون، إلَّا أن تركيز الزئبق وصل في بعض الشواطيء إلى أكثر من ذلك. هذا وتترسب مركبات الزئبق في خلايا الكائنات المائية الحية مما يؤثر عليها ويصل تأثيرها إلى المستهلك النهائي لها وهو الإنسان. ومركبات الزئبق بشكل عام سامة.

(ب) مركبات الرصاص.

تعتبر عوادم السيارات المصدر الرئيسي للتلوث بمركبات الرصاص بينما تعتبر المخلفات الصناعية لمصانع مركبات الرصاص هي المصدر الثانوي للتلوث بهذه المركبات. فمثلاً رباعي ألكيل الرصاص الذي يستخدم لرفع رقم الأكتان في وقود السيارات وكمضاد للفرقعة في داخل المحرك يعتبر ساماً ويؤثر على الجهاز العصبي المركزي وقد يعاني منه الذين يتعاملون معه في المصانع ومصافي البترول. حيث أنه في أمريكا وكندا سجل ٨٨ حالة تسمم من بداية استعماله عام ١٩٢٣م وحتى الآن. إلَّا أن هذا المركب يخرج من عوادم السيارات على شكل أملاح غير عضوية تلوث الهواء وقد تصل إلى المسطحات المائية عن طريق مياه الأمطار والرياح. ومركبات الرصاص بشكل عام سامة وتؤدي إلى التهاب خلايا المخ مما يؤثر على الجهاز العصبي كما أنها تسبب الأنيميا (فقر الدم) وتؤثر على الكلى والقلب وتسبب العقم والسرطان في الإنسان والحيوان.

لذلك فإنه يستخدم ميثل ثالثي بيوتل ايثر لرفع رقم الأوكتان لوقود السيارات بدلاً من رباعي ألكيل الرصاص الذي ثبت مدى ضرره على تلوث البيئة وصحة الإنسان (إنظر الفصل الأول).

(جـ) معادن ثقيلة أخرى.

إن مركبات الكادميوم والنحاس والكروم والكوبلت والنيكل والزنك والزرنيخ والبريليوم وغيرها تعتبر بلاشك مواد سامة وتتميز مثلها مثل مركبات العناصر الثقيلة الأخرى بأنها تتخذ الصفة التراكمية في خلايا الكائنات الحية مما يزيد من خطورتها

ويؤثر على نمو هذه الكائنات وتكاثرها، كما أن ذلك يؤدي إلى تسمم الإنسان المستهلك النهائي لهذه الكائنات.

المصدر الرئيسي لمركبات هذه المعادن هو الصخور والبراكين والمبيدات والمخلفات الصناعية. فمثلاً يدخل الكادميوم في صناعة البلاستيك والبويات والأسمنت كما أنه يوجد في دخان السجائر. امَّا الزرنيخ فيدخل في صناعة السيراميك وفي المبيدات الحشرية وهكذا.

٣ ــ ٣ طرق تحسين نوعية المياه الجوفية.

إن معظم المياه الطبيعية تحتاج إلى تحسين وتهذيب حيث يبين الجدول ٣ ــ ١ مواصفات الماء الصالح للشرب. ويجب التفريق بين طرق المعالجة لتغيير الصفات الطبيعية (الفيزيائية) وطرق التنقية والتعقيم والتحلية لتغيير صفات الماء الكيميائية. إذ أن معالجة الصفات الطبيعية للماء تقتصر على إزالة الروائح الكريهة للمياه، مثل معالجة طعم الماء ولونه، وذلك بالحرارة أو بإستخدام المواد الكيماوية مثل الأوزون أو الكلور أو البروم أو برمنجانات البوتاسيوم.

وتتلخص أغراض تنقية المياه بالتالي :

١ ــ التخلص من المواد العالقة : بالترسيب والترشيح، سواء الترسيب الطبيعي أو الترسيب الكيميائي باستخدام كبريتات الألومنيوم أو كبريتات الحديد أو كلور الحديد أو سيليكات الصوديوم أو أكسيد الكالسيوم.

٢ ــ التخلص من الأيونات الموجودة مثل أيونات الحديد والمنجنيز والفسفور.

٣ ــ التخلص من الغازات الذائبة مثل أول أكسيد الكربون وغاز كبريتيد الهيدروجين، وذلك بإمرار فقاعات هوائية من أسفل الماء أو بإنخفاض الضغط أو غير ذلك من الوسائل الأخرى.

٤ ــ التخلص من المواد الكيميائية كلياً أو جزئياً.

٥ ــ تطهير الماء من الجراثيم اما باستخدام المواد الكيميائية مثل الكلور أو الأوزون لإزالة الفيروسات والاميبيا أو الكلوروامين NH_2Cl أو برمنجانات البوتاسيوم $KMnO_4$ أو بالطرق الطبيعية كالحرارة أو استخدام الأشعة فوق البنفسجية.

جدول ٣ ـــ ١ مواصفات الماء الصالح للشـــرب(*)

المـــواد	الحد المطلوب (ملجم/لتر)	أعلى حد مسموح (ملجم/لتـر)
المواد الصلبة TDS	٥٠٠٫٠٠	١٥٠٠٫٠٠
الحديد	٠٫١٠	١٫٠٠
النحاس	٠٫٠٥	١٫٥٠
المنجنيز	٠٫٠٥	٠٫٥٠
الخارصين	٥٫٠٠	١٥٫٠٠
الكالسيوم	٧٥٫٠٠	٢٠٠٫٠٠
الماغنسيوم	٣٠٫٠٠	١٥٠٫٠٠
الكبريتات	٢٠٠٫٠٠	٤٠٠٫٠٠
الكلوريدات	٢٠٠٫٠٠	٦٠٠٫٠٠
الأس الهيدروجيني pH	٧ ـــ ٨٫٥	٦٫٥٠ ـــ ٩٫٢
الفينولات	٠٫٠١	٠٫٠٢
مجموع الموادالمسببة للعسر (ككربونات كالسيوم)	١٠٠٫٠٠	٥٠٠٫٠٠
بكتيريا	أقل من ١ في ملتر	

* Water Treatment Handbook, Fifth Ed., John Wiley, New York, 1979.

وقبل أن نشرع في وصف بعض هذه الطرق المستخدمة لتنقية المياه نذكر بإيجاز أهم الملوثات المائية وأنواعها، وهي التي تنقسم إلى ثلاثة انواع : ملوثات فيزيائية، وملوثات كيميائية، وملوثات بيولوجية.

فالملوثات الفيزيائية (الطبيعية) هي كل ما يضاف إلى الماء من الطبيعة ويمكن إزالته بطرق معالجة الصفات الطبيعية للماء المذكورة سابقاً، وتسبب هذه الملوثات في تغيير طعم ولون ورائحة الماء، وتتكون هذه الملوثات من تخلف وترسب المواد العالقة في الماء.

أما الملوثات الكيميائية فإنها إما أن تكون عضوية الأصل أو غير عضوية، ومن أمثلة الملوثات غير العضوية : الحديد والمنجنيز والخارصين والنحاس والكالسيوم والمغنسيوم. ويجب أن يكون تركيز هذه المواد عند حد معين يعتمد على حسب نوعية استعمال الماء للأغراض المختلفة. وللملوثات الكيميائية العضوية أنواع مختلفة أهمها الفينولات ومشتقاتها ومخلفات المبيدات الحشرية والمنظفات الصناعية والمركبات العضوية الأخرى القابلة للتكسر البيولوجي.

وتعتبر البكتيريا والفيروسات وإفرازات الكائنات الدقيقة الحيوانية أو النباتية هي أهم أنواع الملوثات البيولوجية، وتسبب هذه الملوثات الأمراض والتسمم في بعض الأحيان.

وبمعرفة أنواع الملوثات المختلفة يمكن تصنيف طرق معالجة وتحسين صفات ونوعية المياه إلى نوعين أساسيين هما :

أولاً : الطرق المستخدمة لإزالة المواد العالقة.

(أ) الترسيب Settling.

(ب) التعويم Floatation.

(جـ) الترشيح Filtration.

(د) الفصل باستخدام قوة الطرد المركزي Centrifugal Force.

ثانيــاً : الطرق المستخدمة لإزالة المواد الذائبة.

١ ـــ فصل الماء عن الأملاح مع تغيير حالة المادة.

(أ) بتبخير الماء : وذلك بالطرق التاليــة :

التبخير متعدد المراحل Multiple Effect Evaporation.

التبخير الومضي متعدد المراحل Multistage Falsh Evaporation.

التبخير مع ضغط البخار Vapor Compression Evaporation.

التقطير بالطاقة الشمسية Solar Distillation.

(ب) بتجميد الماء : وذلك بطريقة الفصل بالتجميد Freeze Separation.

٢ ـــ فصل الماء عن الأملاح دون تغيير حالة المادة.

ويتم ذلك باستخدام الأغشية Membranes وبطريقة التناضح العكسي Reverse Osmosis.

ثالثـاً : فصل الأملاح عن المـاء.

(أ) بإمرار الأيونات خلال أغشية الفرز الكهربائي Electrodialysis.

(ب) باستخدام الخواص الانتقالية للأيونات وبطريقتي :

التبادل الأيوني Ion Exchange.

الاستخلاص بالمذيبات Solvent Extraction.

ويبين الشكل ٣ ـــ ١ إمكانية استخدام كل طريقة من الطرق السابقة وحدود فعاليتها بالنسبة للأحجام المختلفة من المواد المذابة في الماء، وكذلك العوامل المؤثرة على عملية الفصل.

وصف العمليات التي تستخدم في تنقية وتحسين نوعية المياه الجوفيـة.

١ ـــ التهوئـة.

وذلك بدفع الهواء للمياه الخام لأكسدة بعض الأيونات، مثل الحديد والمنجنيز وإزالة غاز ثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين والمواد الهيدروكربونية الطيارة ويمكن حساب كمية الغازات الخارجة من العلاقة التالية :

$$C_t = S + (C_o - S)\, 10^{-K(A/V)t}$$

حيث أن C_t تركيز الغازات الخارجة.

S تركيز الغازات عند التشبع.

C_o تركيز الغازات في الماء.

K معامل انتقال الغاز.

A/V نسبة مساحة الماء إلى الحجم.

t زمن التهوئة.

العامل المؤثر على عملية الفصل
PRIMARY FACTOR AFFECTING SEPARATION

الحجم SIZE
حسيمات كبيرة نسبياً COARSE PARTICLES
حسيمات دقيقة FINE PARTCLES
حسيمات ميكروية MICRON PARTICLES
جزيئات عيانية كبيرة الحجم MACROMOLECULES
أيونات IONS

SCREENS & STRAINERS المناخل والمصافي
ULTRAFILTRATION الترشيح الفائق
CLOTH & FIBRE FILTERS المرشحات النسيجية والأليافية
MICROFILTERS المرشحات الميكروية

معامل الإنتشار DIFFUSIVITY
REVERSE OSMOSIS التناضح العكسي
DIALYSIS العبور (الديلزة)
ELECTRODIALYSIS العبور الكهربائي

الشحنة الأيونية IONIC CHARGE
ION EXCHANGE التبادل الأيوني

درجة حرارة وضغط البخار VAPOR TEMP. & PRESSURE
DISTILLATION & FREEZING التقطير والتجميد

الذوبانية SOLUBILITY
SOLVENT EXTRACTION الاستخلاص بالمذيبات

النشاط السطحي SURFACE ACTIVITY
FOAM BUBBLE FRACTIONATION (FLOATATION) الفصل بالتعويم

الكثافة DENSITY
ULTRACENTRIFUGATION الفصل الفائق بالقوة الطاردة المركزية
CENTRIFUGATION الفصل بالقوة الطاردة المركزية
HYDROCYCLONES السيكلون المائي
GRAVITY SEPARATION الترسيب

الجستروم	١	١٠	١٠٠	١٠٠٠	$١٠^٤$	$١٠^٥$	$١٠^٦$	$١٠^٧$
ميكرون	$١٠^{-٤}$	$١٠^{-٣}$	$١٠^{-٢}$	$١٠^{-١}$	١	١٠	١٠٠	١٠٠٠
مم	$١٠^{-٧}$	$١٠^{-٦}$	$١٠^{-٥}$	$١٠^{-٤}$	$١٠^{-٣}$	$١٠^{-٢}$	$١٠^{-١}$	١

شكل ٣ ــ ١ حدود فعالية الطرق المختلفة لعمليات تنقية الماء من الشوائب التي تتراوح أحجامها من الأيونات الذائبة إلى الجسيمات العالقة

٢ ــ إزالة المواد العالقــة.

وعادة ما تتم إزالة المواد العالقة بالترشيح أو بالتخثير Coagulation وذلك بعد فصل الجسيمات كبيرة الحجم بالترسيب، كما تستخدم أيضاً عملية التعويم Floataion لفصل المواد العالقة. وتعتمد عملية الترشيح على انتقال المواد العالقة إلى المرشحات ثم التصاقها بها ومن ثم فصلها. وتشمل عملية انتقال المواد إلى المرشحات قوى القصور الذاتي للجسيمات Inertial forces وقوى الجاذبية وانتشار المواد وهيدرودناميكية الماء عند ظروف الترشيح. كما وتعتمد عملية التصاق المواد العالقة على مقدار توتر المرشحات ومدى التداخل بين المواد العالقة ونوعية وتركيب المرشح (الفلتر) وتزيد فعالية الترشيح إذا ماكانت المياه مخثرة مسبقاً والمرشحات المستخدمة هي رمل السيليكا (ذو الكثافة النوعية ٢٫٦٥) وفحم الأنثراسيت.

إن الهدف الرئيسي لعملية التخثير هو تسهيل عملية الترسيب للمواد العالقة صغيرة الحجم وكما هو موضح في جدول ٣ ــ ٢ من أن زمن الترسيب يعتمد أساساً على حجم المواد العالقة. وهناك أنواع كثيرة من أملاح الحديد والألومنيوم تستخدم تجارياً لهذا الغرض مثل :

(أ) الشب Alum : $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ (وتستخدم غالباً لمياه الشرب).

(ب) الجير Lime : $Ca(OH)_2$.

(جـ) كلوريد الحديد المائي : $FeCl_3 \cdot 6H_2O$.

(د) كبريتات الحديد المائية : $Fe_2(SO_4) \cdot 3H_2O$.

٣ ــ إزالة عسر المياه والمواد المسببة للقشور.

كما ذكر سابقاً فإن عسر الماء يكون بسبب وجود أملاح الكالسيوم والمغنسيوم سواء على شكل بيكربونات أو كربونات أو كبريتات أو كلوريدات أو نترات. إن ارتفاع درجة حرارة المياه أو حتى تشبعه بهذه الأملاح من خلال أنظمة التوزيع المائية يسبب ترسب هذه الأملاح وتكوين القشور. وعادة ما يسمى عسر الماء بالعسر الكربوني أو العسر غير الكربوني تبعاً لوجود أو عدم وجود كربونات الكالسيوم

جدول ٣ ــ ٢ : تأثير حجم المواد العالقة على زمن الترسيب(*)

الحجم(**) (مم)	نوعية المواد العالقة	المساحة السطحية	زمن الترسيب
١٠,٠٠٠٠٠	الحصى	٤٨٧ر٠ بوصة مربعة	٣ر٠ ثانية
١,٠٠٠٠٠٠	حبيبات الرمل كبيرة الحجم	٤٫٨٧٠ بوصة مربعة	٣٫٠ ثوان
١,٠٠٠٠٠	حبيبات الرمل الناعمة	٤٨٫٧٠٠ بوصة مربعة	٣٨٫٠ ثانية
٠,٠١٠٠٠٠	الطمي (الغرين)	٣٫٣٨ قدم مربع	٣٣ دقيقة
٠,٠٠١٠٠٠	البكتيريا	٣٣٫٨ قدم مربع	٥٥ ساعة
٠,٠٠٠١٠٠	الجسيمات الرغوية	٣٫٨ ياردة مربعة	٢٣٠ يوم
٠,٠٠٠٠١٠	الجسيمات الرغوية	٠٫٧ هكتار	٦٫٣ سنة
٠,٠٠٠٠٠١	الجسيمات الرغوية	٧٫٠ هكتار	٦٣ سنة

(*) Faust, S.D. and Osman, M. A, Chemistry of Water Treatment, Ann Arbor Science, Michigan, 1983.

(**) افترض حجم الجسيمات كروياً والكثافة للمواد مقدارها ٢٫٦٥ ومسافة الترسيب ١ قدم.

والمغنسيوم في الماء. كما ويفرق أحياناً بين العسر المؤقت الناشيء عن البيكربونات والعسر الدائم الناتج عن وجود الأملاح الأخرى.

ويمكن إزالة عسر المياه بإضافة الجير الحي ورماد الصودا Soda ash وأهم التفاعلات الحاصلة هي :

$$H_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons CaCO_3 + 2H_2O$$

$$Ca^{++} + 2HCO_3 + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons 2CaCO_3 + H_2O$$

$$Ca^{++} + Na_2CO_3 \rightleftharpoons CaCO_3 + 2Na^+$$

$$H\bar{C}O_3 + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons CaCO_3 + \bar{O}H + H_2O$$

$$Mg^{++} + 2HC\bar{O} + 2Ca(OH)_2 \rightleftharpoons 2CaCO_3 + Mg(OH)_2 + 2H_2O$$

$$Mg^{++} + Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 \rightleftharpoons CaCO_3 + Mg(OH)_2 + 2Na^+$$

٤ ــ إزالة المواد غير العضوية.

وتشمل العناصر التالية : الفضة، الزرنيخ، الباريوم، الكادميوم، الكروم، النحاس، الفلورين، الحديد، الزئبق، المنجنيز، الصوديوم، الرصاص والقصدير، بالإضافة إلى مركب كبريتيد الهيدروجين. وهي تسبب ضرراً على صحة الإنسان. بالإضافة إلى ذلك فإن أيونات الحديد والنحاس والمنجنيز لها تأثيرات ملحوظة، فالنحاس مثلاً يؤثر على مذاق الماء وطعمه، وأيونات الحديد والمنجنيز المؤكسد تتسبب في تعكير الماء، إلى جانب أنها تسبب تآكل للمعادن الحاملة للمياه، لذا يجب خفض تركيز هذه المواد إلى الحدود المسموح بها. وغالباً ما تستخدم الطرق التالية:

(أ) طرق الأكسدة والترسيب.

أما بالتهوية (الأكسدة بالهواء) ثم الترسيب ثم الترشيح، أو بالأكسدة ببرمنجنات البوتاسيوم أو الكلور أو الأوزون.

(ب) طريقة التبادل الأيوني.

وذلك بتبادل أيونات هذه العناصر مع أيونات الصوديوم والهيدروجين.

(جـ) تثبيت الأيونات بإضافة مادة سداسي ميتافوسفات الصوديوم Sodium hexametaphosphate. ويستخدم ذلك بكثرة في إزالة الحديد وينبغي أن تكون إضافة هذه المادة قبل عملية الأكسدة لصعوبة تثبيت هيدروكسيد الحديد.

(د) الترسيب على شكل كربونات أو هيدروكسل.
(هـ) امتصاص هذه العناصر بالحديد المائي أو أكسيد المنجنيز.

وفي الجدول ٣ ــ ٣ ملخص لأهم الطرق الفعالة في معالجة هذه العناصر غير العضوية، ومما ينبغي ذكره هنا أن هذه العناصر لاتزال واحداً تلو الآخر بطرق مختلفة بل أنها تزال مجموعة بطرق متقاربة في الفعالية كما وأن طرق المعالجة السابقة والتالية قد تخدم أكثر من غرض.

جدول ٣ ــ ٣ : الطرق الفعالة لإزالة العناصر غير العضوية(*)

العنصر	الطريقة
الزرنيخ	التخثير بالحديد، التيسير Softening بالجير، المعالجة بالألومنا النشطة.
الباريوم	التيسير بالجير أو بالتبادل الأيوني.
الكادميوم	التخثير بالحديد، التيسير بالجير.
الكروم	التخثير بالحديد أو الشب.
الفلوريد	التبادل الأيوني مع الشب المنشط.
الرصاص	التخثير، التيسير بالجير.
الزئبق	التخثير بكبريتات الحديد، المعالجة بالكربون النشط.
الفضة	التخثير بالشب أو بكبريتات الحديد، التيسير بالجير

(*) Sorg, T.J., and Logston, G. S., J. Am. Water Works Assoc. 72, 411, 1980.

٥ ــ إزالة المواد العضوية .

تحتوي بعض المياه الجوفية على مركبات هيدروكربونية بتركيز يصل إلى ٥٠ جزء في المليون ومن أهم هذه المواد : فلوريثم Fluorathim وكلوروبنزين

Vinylchloride وكلوريد فاينل Dichlorethene وثنائي كلوروايثين Chlorobenzene, وغيرها. ويعتمد وجودها على حسب المنطقة التي تحتوي هذه المياه ونوعية التربة ومياه التغذية ومدى تلوث الخزانات الجوفية بمخلفات الصناعة. ولعل من أخطر هذه المركبات العضوية هي الهيدروكربونات الأروماتية عديدة النوى Polynuclear aromatic hydrocarbons والتي تسبب السرطان. ولقد كان ومازال الفحم (الكربون) المنشط يستخدم لإزالة هذه المركبات العضوية. ويستعمل على شكل مسحوق أو حبيبات، وتعتمد فعالية الكربون على نوعية وتركيب المسامات والمساحة السطحية. ويمكن حساب الكمية الممتصة من المركبات العضوية، V_m، من المعادلة التالية :

$$\frac{P}{V(P_o - P)} = \frac{1}{V_m\ C} + \left(\frac{C - 1}{V_m C} \quad \frac{P}{P_o}\right)$$

بحيث أن : P هو ضغط الاتزان.

P_o ضغط التشبع بالنيتروجين.

V حجم النيتروجين.

C ثابت.

والتي يمكن حلها برسم $P/V(P_o - P)$ مقابل P/P_o وحساب V_m من ميل الخط المستقيم الناتج. وتسمى هذه العلاقة بمعادلة ب. أ. ت. BET وهي الحروف الأولى لأسماء واضعيها Brunauer, Emmertt, and Teller

٦ ــ إزالة البكتريا والفيروسات وتطهير المياه الجوفية.

إن الهدف الأساسي من تطهير المياه هو منع إمكانية حدوث الأمراض الناتجة من انتشار وتولد البكتيريا والفيروسات في المياه، ومن أهمها حمى التيفود والكوليرا والأمراض الصدرية. وتعني طرق تطهير المياه بهدم وإيقاف عمل الكائنات الحية الدقيقة، ومن هذه الطرق :

(أ) رفع درجة حرارة المياه.

(ب) استخدام الأشعة فوق البنفسيجية.

(جـ) المعالجة بأيونات المعادن مثل النحاس والفضة.

(د) المعالجة بالأحماض والقواعد القوية.
(هـ) استعمال وسائط السطوح النشطة كمركبات الأمونيوم.
(و) الأكسدة الكيميائية باستخدام الكلور أو ثاني أكسيد الكلور أو البروم أو اليود أو الأوزون أو برمنجنات البوتاسيوم.

٧ ـ تحسين طعم ورائحة المياه الجوفية :

تقاس رائحة المياه بإحدى المقاسين أحدهما : Threshold Odor Number, (TON) وهو عبارة عن النسبة التي يجب أن يخفف بها الماء ذو الرائحة بمياه عديمة الرائحة للحد الذي تزول به رائحته. والمقاس الآخر هو مقياس شدة الرائحة Odor Intensity Index, (OII) وهو عبارة عن عدد المرات التي تخفف بها مياه ذات الرائحة إلى النصف حتى نحصل على مياه عديمة الرائحة. ويعبر رياضياً عن هذين المقياسين كالتالي :

$$TON = \frac{A + B}{A}$$

$$OII = 3.3 \log \frac{200}{A} + 3D$$

$$TON = 2^{OII}$$

بحيث أن : A كمية المياه ذات الرائحة الابتدائية، مليمتر.
B كمية المياه عديمة الرائحة المستخدمة للتخفيف، مليمتر.
D عدد ٢٥ : ١٧٥ من التخفيف الأولي للحصول على مياه عديمة الرائحة.

وعادة ما يستخدم الكربون النشط وبعض الكيماويات المؤكسدة مثل الكلور وبرمنجنات البوتاسيوم وثاني أكسيد الكلور في إزالة رائحة وطعم المياه الجوفية وتتم هذه العملية في ثنايا طرق المعالجة الرئيسية كأن تضاف مثلاً في عمليات التخثير الكيميائي.

٣ ــ ٤ الطرق المستعملة لتحلية مياه البحر.

تعتبر تحلية مياه البحر من المصادر الرئيسية للحصول على مياه الشرب النقية في كثير من دول العالم وتأتي المملكة في مقدمة هذه الدول والجدول ٣ ــ ٤ يبين محطات التحلية في المملكة العربية السعودية.

جدول ٣ ــ ٤ : بيان بمحطات تحلية المياه في المملكة العربية السعودية(*)

التسلسل	المحطة	عام التشغيل	سعة الانتاج مليون جالون ماء يومياً	سعة الانتاج ميجاوات كهرباء
١ ــ محطات عاملة على ساحل البحر الأحمر :				
١	الوجه ١	١٣٨٩	٠٦٠ر٠	—
٢	ضباء ١	١٣٨٩	٠٦٠ر٠	—
٣	جده ١	١٣٩٠	٥٫٠٠٠	٥٠٫٠٠
٤	أملج ١	١٣٩٥	١٥٠ر٠	—
٥	جدة/السريع	١٣٩٨	٣٫٣٠٠	—
٦	جدة ٢	١٣٩٨	١١٫٤٠٠	٨٤٫٠٠
٧	جدة ٣	١٣٩٩	٢٣٫٢٠٠	٢٤٠
٨	ضباء ٢	١٣٩٩	١٥٠ر٠	—
٩	الوجه ٢	١٣٩٩	١٥٠ر٠	—
١٠	جزيرة فرسان ١	١٣٩٩	١٣٢ر٠	٢٫٣٠
١١	حقل ١	١٤٠١	٢٣٣١	—
١٢	المدينة/ينبع ١	١٤٠١	٢٨٫٥٠٠	٢٥٠٫٠٠
١٣	جدة ٤	١٤٠١	٥٨٫١٠٠	٦٠٠٫٠٠
١٤	رابغ ١	١٤٠١	٣٤٠ر٠	—

تابع جدول ٣ ــ ٤ :

التسلسل	المحطة	عام التشغيل	سعة الانتاج مليون جالون ماء يومياً	سعة الانتاج ميجاوات كهرباء
١٥	البرك ١	١٤٠٣	٠٫٦٠٠	—
٢ ــ محطات عاملة على ساحل الخليج العربي :				
١٦	الخفجي ١	١٣٩٣	٠٫١٤٥	—
١٧	الخبر ١	١٣٩٤	٧٫٥٠٠	—
١٨	الخفجي السريع	١٣٩٩	٠٫٣٣٠	—
١٩	الجبيل ١	١٤٠١	٣٦٫٣٠٠	٣٦٠٫٠٠
٢٠	الجبيل ٢	١٤٠٣	٢٥٣٫٥٠٠	١٢٩٥٫٠٠
٢١	الخبر ٢	١٤٠٣	٥١٫٥٠٠	٦٠٠٫٠٠
٣ ــ محطات تحت الإنشاء :				
٢٢	مكة/الطائف ١	تحت الإنشاء	٤٨٫٠٠٠	٣٢٠٫٠٠
٢٣	عسير ١	تحت الإنشاء	٢٤٫٠٠٠	١٢٨٫٠٠
٢٤	أملج ٢	تحت الإنشاء	١٫٠٠٠	—
٢٥	حقل ٢	تحت الإنشاء	١٫٧٤٠	—
٢٦	ضباء ٣	تحت الإنشاء	١٫٠٠٠	—
٢٧	الخفجي ٢	تحت الإنشاء	٦٫٠٠	—
٤ ــ مشاريع تمت دراستها ومعدة للتنفيذ :				
٢٨	الليث	معد للتنفيذ	٠٫١٥٠	—
٢٩	المدينة/ينبع ٢	معد للتنفيذ	٢٠٫٠٠٠	٥٠٫٠٠
٣٠	تبوك	معد للتنفيذ	٣٠٫٠٠٠	لم تحدد
٣١	القنفذة	معد للتنفيذ	١٫٠٠٠	—
٣٢	الخبر ٣	معد للتنفيذ	٦٠٫٠٠٠	٦٠٠٫٠٠

تابع جدول ٣ ــ ٤

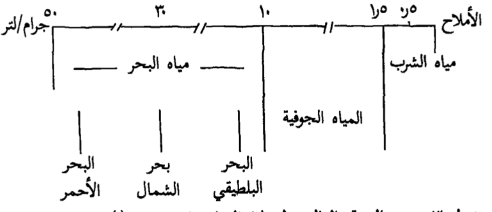
التسلسل	المحطة	عام التشغيل	سعة الانتاج مليون جالون ماء يومياً	ميجاوات كهرباء
٥ ــ مشاريع قيد الدراسة :				
٣٣	جدة ٥	قيد الدراسة	٥٠,٠٠٠	لم يحدد
٣٤	الوجه ٣	قيد الدراسة	١,٠٠٠	ــ
٣٥	ثول والقضمه	قيد الدارسة	٠,٥٠٠	ــ
٣٦	مستوره	قيد الدراسة	٠,٥٠٠	ــ
٣٧	فرسان ٢	قيد الدراسة	٠,٥٠٠	ــ

(*) نشرة «تحلية المياه المالحة»، المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة، الرياض.



شكل ٣ ــ ٢ : محطة الخبر للتحلية وتوليد الكهرباء.

وعلى الرغم من إمكانية إزالة ملوحة مياه البحر بطرق معملية عديدة إلَّا أن هناك طرق محدودة تستخدم تجارياً منذ العشرين سنة الماضية. ويعتمد استخدام طريقة ما للتحلية على ملوحة المياه وعلى تكاليف الإنشاء والتشغيل والتي تختلف بذلك من موقع إلى آخر، وكما يلاحظ في الجدول ٣ ــ ٥ أن طريقة التبخير الومضى Multistage Flash, MSF تحظى بنسبة استخدام كبيرة تليها طريقة التناضح العكسي Reverse Osmosis, RO. ويبين الجدول ٣ ــ ٦ التدرج الزمني لسوق محطات مياه التحلية والذي تظهر فيه محطات التقطير Distillation مجتمعة بما فيها التقطير الومضي (والتي اكتشفها سيلفر Silver عام ١٩٥٠) بأنها أكثر طرق التحلية إستعمالاً، كما ويبين الجدول أيضاً أن طريقة الديلزة Electrodialysis, ED لها سوق منافس أيضاً وإن قلّ عليها الطلب في السنوات الأخيرة. هذا وتصنف المياه حسب كمية الأملاح الذائبة على النحو التالي:



جدول ٣ ــ ٥ السوق العالمي لتحلية المياه عام ١٩٨٥م(*)

العدد الكلي لمحطات التحلية	٤٦٠٠
السعة الكلية	٢٦٢١ مليون جالون يومياً (٩٢ر٩ مليون متر مكعب يومياً)
زيادة المبيعات عن ١٩٨٠م	٧٪

تابع جدول ٣ ــ ٥

التوزيع حسب :	النسبة المئوية :	
ــ الطريقة :	التبخير الومضي	٦٧٫٦ من السعة الكلية
	التناضح العكسي	٢٣٫٠
ــ مياه محلاه :	مياه البحر	٦٦٫٦
	المياه الجوفية	٢٣٫٠
ــ الاستخدامات :	للشرب	٦٧٫٠
	للصناعة	٢٠٫٠
	للمراجل	٥٫٠
	(البخار)	٥٫٠
ــ المصنعين : Sasakura اليابان		١٩٫٠
SIDEM فرنسا		٩٫٥
Ionics أمريكا	محطات الديلزة	٤٫٠
UOP أمريكا	التناضح العكسي	٣٫٥
ــ المنطقة الجغرافية : الجزيرة العربية		٦٠٫٠ (السعودية حوالي ٥٠٪)
أمريكا		١٧٫٠
ليبيا		٥٫٤
إيران		٣٫١
السوفيت		٢٫٥
ــ سعة المحطة :		
أقل من ٠٫٠١ مليون جالون يومياً :		
التبخير الومضي		٤٤٫٠
التناضح العكسي		٤٣٫٠

تابع جدول ٣ ـــ ٥

أكبر من ١ مليون جالون يومياً :

التبخير الومضي	٨٤٫٥
التناضح العكسي	١١٫٢

(*) Liberti, L. et al, Technological and Economic Trends of Sea Water Desalting in the 90's Second World Congress on Desalination and Water Reuse, Bermuda, 1985.

جدول ٣ ـــ ٦ التدرج الزمني لسوق التحلية(*) (نسبة مئوية)

الطريقة/السنة	١٩٧٥	١٩٧٦	١٩٧٧	١٩٧٨	١٩٧٩	١٩٨٠	١٩٨٤
التقطير	٨٤٫٤٨	٨١٫٨٩	٧٨٫٢٥	٧٥٫٥٤	٧١٫١١	٧٤٫٠٧	٧٥٫١٠
الديلزة	٥٫٩٤	٦٫٠٥	٧٫٢٥	٧٫٥٣	٦٫٨٧	٥٫٤٠	٤٫٧٠
التناضح العكسي	٩٫٥٨	١٢٫٠٧	١٤٫٥٠	١٦٫٩٢	٢٢٫٠٢	٢٠٫٥٣	٢٠٫٠٠

(*) Khan, A. H., Desalination Processes and Multistage Flash Distillation Practice, Elsevier, Amsterdam, 1986.

إن طرق التحلية المختلفة يمكن أن تصنف على عدة اعتبارات، فتصنف حسب استخدامات الطاقة كالآتي :

ـــ الطرق التي تستخدم الطاقة الميكانيكية : التناضح العكسي.
ـــ الطرق التي تستخدم الطاقة الكهربائية : الديلزة (الفرز الكهربي).
ـــ الطرق التي تستخدم الطاقة الكيميائية : التبادل الأيوني Ion exchange.
ـــ الطرق التي تستخدم الطاقة الحرارية : التبخير متعدد المراحل Multi Effect Evaporation, MEE والتبخير الومضي والتبخير مع ضغط البخار Vapor Compression, VC والتبخير بالطاقة الشمسية Solar Distillation, SD.

كما وتصنف أيضاً على نوعين هما : الطرق الحرارية والطرق المستخدمة للأغشية (التناضح العكسي والديلزة والتبادل الأيوني). على أن أنسب طرق التصنيف هي الطريقة التي تبين كيفية فصل الماء والأملاح وأي منها يفصل عن الآخر، ويقسم هذا التصنيف إلى ثلاثة أقسام هي :

أولاً : فصل الماء عن الأملاح مع تغيير حالة الماء.

ـ بتبخير الماء (التبخير متعدد المراحل، التبخير الومضي متعدد المراحل، التبخير مع ضغط البخار، التبخير بالطاقة الشمسية).

ـ بتجميد الماء.

ثانيـاً : فصل الماء عن الأملاح دون تغيير حالة الماء.

ـ بطريقة التناضح العكسي.
ـ بالديلزة (الفرز الكهربي).

ثالثـاً : فصل الأملاح عن الماء.

ـ باستخدام الأغشية (التناضح العكسي والديلزة).
ـ باستخدام الخواص الانتقالية للأيونات (التبادل الأيوني وطريقة الاستخلاص بالمذيبات Solvent Extraction).

وعلى أية حال فإن محطات التحلية المختلفة تحتوي على الخطوات التالية: إذ يضخ ماء البحر لوحدات الفصل الميكانيكية لفصل المواد الصلبة ثم يمر على وحدات المعالجة الأولية وتشمل إضافة بعض المواد الكيميائية ويختلف نوع هذه المواد وكمية إضافتها تبعاً لنوعية مياه البحر وللطريقة المستخدمة للتحلية في المحطة كما ويلزم أيضاً معالجة كيميائية أخرى للمياه الناتجة من محطة التحلية حتى تكون ضمن نطاق المواصفات المطلوبة. وفيما يلي وصف مبسط لبعض طرق التحلية المستخدمة حالياً.

١ ــ التبخير متعدد المراحل (متعدد الفعالية).

عرفت هذه الطريقة منذ زمن طويل، وحالياً فإن هناك ما يعادل ٥٪ من السعة الكلية للمياه المحلاة تعمل بطريقة التبخير متعدد المراحل، أي ما يعادل ٤٩٢٫٢٣٦ متر مكعب باليوم، وأكبر سعة للمحطات التي تعمل بهذه الطريقة هي ٢٠٫٠٠٠ متر مكعب في اليوم. وتهدف هذه الطريقة إلى زيادة الاستفادة من حرارة التسخين الداخلة للمحطة وذلك بخفض الضغط في الوحدات المتتابعة كما هو موضح في شكل ٣ ــ ٣. إذ أن درجة الغليان تنخفض بانخفاض الضغط (انظر شكل ٣ ــ ٤) مما يتيح للبخار المتكون في الوحدة الأولى إمكانية تبخير الماء المالح في الوحدة الثانية عند تكثفه داخل هذه الوحدة ثم يستفاد من البخار المتكون في هذه الوحدة بتبخير مياه الوحدة الثالثة وهكذا تتكرر فعالية البخار وتزيد نسبة إنتاج المياه العذبة (المتبخرة) بالنسبة للبخار المستخدم في الوحدة الأولى، والتي تعرف بنسبة العائد Gain output ratio, GOR أو اقتصاد البخار Steam economy ويتراوح بين ٤ إلى ١٠ في معظم محطات التحلية من هذا النوع.

وهناك طرق مختلفة لنقل الحرارة من وحدة إلى أخرى في هذه المحطات أهمها:

١ ــ طريقة الأنابيب المغمورة Submerged tubes.

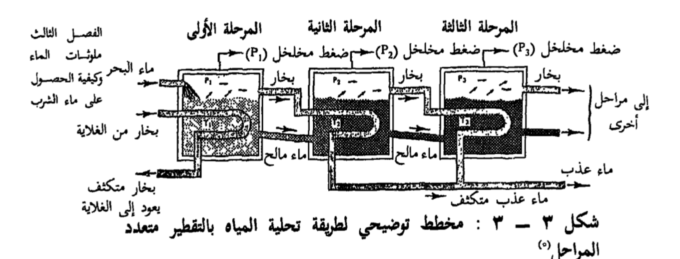
٢ ــ طريقة الأنابيب العمودية Vertical tubes.

٣ ــ طريقة الأنابيب الأفقية Horizontal tubes.

وتختلف هذه الطرق بمقدرتها على التغلب على تكوين القشور Scale Forming على الأنابيب والتي تحد من انتقال الحرارة كما ويحاول زيادة المساحة السطحية للتسخين.

٢ ــ التبخير الومضي.

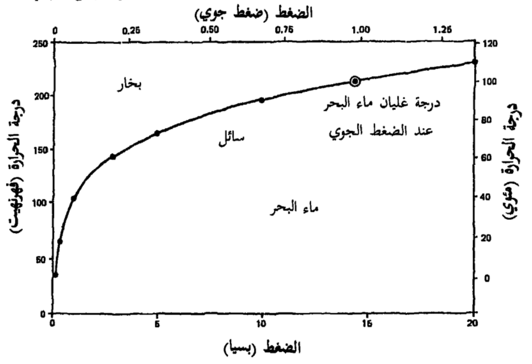
عندما ينخفض ضغط الماء مفاجأة إلى أقل من ضغط البخار عند درجة الغليان فإنه يحدث تبخير للماء بسرعة حتى تنخفض درجة الحرارة إلى أقل من درجة الغليان عند ذلك الضغط المنخفض. كما أن هذا البخار المتكون يتكثف ليسخن الماء الداخل على مراحل حتى يصل إلى درجة حرارة عالية عند أول مرحلة ليقلل بذلك كمية البخار الخارجي المطلوب.



شكل ٣ ـــ ٣ : مخطط توضيحي لطريقة تحلية المياه بالتقطير متعدد المراحل(*)

(*) The USAID Desalination Manual, CH2M Hill International, Florida,USA, 1980.

(*) **ملاحظة** : يتدرج الضغط والحرارة على النحو التالي $P_1 \rangle P_2 \rangle P_3$, $T_1 \rangle T_2 \rangle T_3$



شكل ٣ ـــ ٤ : درجة غليان مياه البحر عند الضغوط المختلفة(*)

(*) نفس المرجع السابق.

وعلى عكس طريقة التبخير متعدد المراحل فإن معدل الآداء Performance ratio أو نسبة العائد لاتعتمد على عدد الوحدات المستخدمة بل تعتمد على المدى الحراري للمحطة أي الفارق بين درجة حرارة مياه البحر الداخلة كحد أعلى ودرجة حرارة المياه المتخلفه المالحةBrine كحد أدنى. ويمكن بذلك اختيار عدد المراحل ومعدل الآداء كلاً على حدة. ولقد وجد الرملي العلاقة التالية لإيجاد عدد المراحل في محطات التبخير الومضي.

$$N = 19 + 6\,mgd$$

حيث أن mgd هي سعة المحطة معبراً عنها بالمليون جالون يومياً بحيث تكون بين ١ر. إلى ٤ مليون جالون يومياً. لذا فإن أهم العوامل التي يلزم تحديدها في طريقة التبخير الومضي :

١ ــ الفرق الحراري بين طرفي الوحدة أو المرحلة.
٢ ــ عدد الوحدات.
٣ ــ معدل الآداء.
٤ ــ المدى الحراري.
٥ ــ تركيز الأملاح في مياه البحر.
٦ ــ سرعة سير ماء البحر.

٣ ــ التبخير مع ضغط البخار.

تحتل هذه الطريقة أقل مرتبة من طرق التبخير السابقة فكما هو مبين في جدول ٣ ــ ٧ فإن عددالمحطات التي تعمل بهذه الطريقة في عام ١٩٧٧م حوالي ١١٥ اي نسبة ١٤٪ من إجمالي محطات التحلية العاملة بالتقطير بينما تحظى طريقة التبخير الومضي بنسبة أكبر ٥٤٪ تليها طريقة التبخير متعدد الفعالية ونسبة عدد محطاته ٣٢٪. هذا بالنسبة لتعداد المحطات، أما بالنسبة لسعة محطات التقطير وطاقته الإنتاجية فإن طريقة التبخير مع ضغط البخار لا تنال سوى ٢٪ من إجمالي الطاقة الإنتاجية لمحطات التقطير في عام ١٩٧٧م. ونظراً للتطور الكبير في تصميم محطات التقطير الومضي فإنه لا يتوقع أن يكون للتبخير مع ضغط البخار نسبة تذكر في الوقت الراهن.

وتعمل طريقة التبخير مع ضغط البخار بدون استخدام بخار خارجي إذ يتم ضغط بخار الماء وتكثيفه بواسطة الضاغطات المناسبة Compressor or Steam Jet لرفع الضغط البخاري ودرجة حرارة التكثيف والتي يستفاد منها عند تكثيفها بتبخير كمية أخرى من المياه المالحة لتدور بنفس الدورة المذكورة وبذا فإنها لا تحتاج إلى مصدر للطاقة خارجي ماعدا الطاقة الكهربية اللازمة لإدارة الضاغطات.

والجدول ٣ — ٧ يبين توزيع محطات التقطير لتحلية المياه عام ١٩٧٧م

جدول ٣ — ٧ توزيع محطات التقطير لتحلية المياه عام ١٩٧٧م(*)

الطريقة	السعة		عدد المحطات	
	مليون جالون	النسبة مع المجموع الكلي	عدد المحطات	النسبة من المجموع الكلي
التبخير الومضى	٦٥٠	٨٥٪	٤٢٩	٥٤٪
التبخير متعدد الفعالية	٩٥	١٣٪	٢٦٣	٣٢٪
التبخير مع ضغط البخار	١٥	٢٪	١١٥	١٤٪
المجموع	٧٦٠		٨٠٧	

(*) The USAID Desalination Manual, CH2M Hill International Florida, USA, 1980.

٤ — التناضح العكسي.

يمكن فهم ظاهرة التناضح العكسي Reverse osmosis عند وضع ماء له تركيز ملحي مخفف وآخر به أملاح مركزة في إناء ويفصل بينهما غشاء شبه نفاذ، أي منفذ للماء فقط دون الأملاح. إن اختلاف التركيز في المحلولين يشكل قوة دافعة لانتقال أحد مكوناتهما نحو الآخر للوصول إلى حالة الاتزان الطبيعية، أي حالة تساوي تركيز الأملاح في جانبي الإناء. لذا فإن الماء ينتقل من الماء ذي التركيز

الأقل إلى جهة المحلول المركز لتخفيفه. ويلاحظ بذلك ارتفاع في عمود الماء في تلك الجهة. وعند حالة الاتزان يعبر عمود الماء هذا عن ضغط التناضح Osmotic pressure.

ولكن ماذا يحدث لو بدأنا بنفس المحلولين السابقين وضغطنا على المحلول المركز بضغط يساوي ضغط التناضح؟ في الواقع لن يحصل أي انتقال للمادة ولن يتغير تركيز الأملاح في كلتا الجهتين، لأن هذا الضغط الذي وضع على المحلول المركز يلغي ضغط التناضح، وبذا فلن تكون هناك قوة دافعة نحو انتقال المادة.

ومع زيادة الضغط على المحلول المركز تنشأ قوة دافعة أخرى لانتقال الماء منه نحو الجهة ذات التركيز المخفف، وتزيد كمية انتقال الماء كلما زاد الضغط، وكما نلاحظ أن هذه العملية هي عكس ما يحدث طبيعياً أو تلقائياً عند تلاقي هذين المحلولين، وبذا فإنها تسمى بالتناضح العكسي Reverse osmosis.

إن محطات التحلية المستخدمة لطريقة التناضح العكسي غالباً ما تحتوي على مضخات لضغط الماء المراد تحليته، ووحدة التناضح العكسي التي يفصل فيها الماء النقي المنتج عن المحلول المركز المالح Brine ثم وحدات لإعادة الطاقة المبذولة لرفع ضغط الماء. ولوحدات التناضح العكسي أنواع كثيرة أهمها، النوع الأنبوبي Tubular RO Device والأغشية ذات اللف الحلزوني Spiral Wound والألياف الزجاجية الدقيقة المجوفة Hollow fine fibre permeator. وتلاقي هذه الطريقة حالياً إقبالاً كبيراً كما هو موضح في الجدولين ٣ ــ ٤، ٣ ــ ٥ السابقين، خاصة في مجال تحلية مياه البحر إذ كانت تستخدم في السابق في تحلية المياه الجوفية ومعالجة المياه. ونظراً للتطور الكبير في مجال الأغشية فإنها تدخل في المنافسة حالياً. وأهم العوامل التي تؤثر على عملية فصل الماء من الأملاح في وحدة التناضح العكسي هي :

١ ــ مدى ارتفاع ضغط الماء الداخل لوحدة التنقية، ولنرمز له بـ Dp.
٢ ــ مقدار الضغط الازموزي، Dsp الناتج من وجود المحاليل مختلفة التركيز.
٣ ــ مساحة الغشاء الفاصل بين جزئي وحدة التنقية، A.
٤ ــ سمك هذا الغشاء، t.

وتؤثر هذه العوامل على كمية الماء النقي المنتجة طبقاً للمعادلة التالية :

$$Q = Kw (Dp - Dsp) A/t$$

حيث أن Q هي كمية الماء المنتج.

Kw هو عامل نفاذية الغشاء.

ويعطي حاصل قسمة كمية الماء المنتجة على كمية الماء الكلية نسبة التحويل أو الاسترجاع في وحدة التناضح العكسي Conversion or Recovery of RO plant وهذه النسبة غالباً ما تتراوح بين ٤٠ر، و ٧٠ر، ويمكن رفعها إلى ٩٠ر، أو أعلى بإعادة تحلية المياه المركزة وبالقيام بعمليات معالجة تحضيرية لوحدة التناضح العكسي، وعمليات أخرى لاحقة.

٥ ــ الديلزة (الفرز الكهربي).

وهي أحد طرق التحلية المستخدمة للأغشية Membrane ولقد كانت أول محطة من هذا النوع في عام ١٩٥٤م. وتستخدم الديلزة في الغالب لتحلية المياه الجوفية وهي ذات سعة صغيرة تترواح بين ١٠٠ و ٤٠٠ متر مكعب يومياً. وأكبر محطات الديلزة هي التي في بغداد بسعة ٢٤٫٠٠٠ متر مكعب يومياً. وتعتمد هذه الطريقة على التحليل الكهربائي للأملاح المذابة إلى أيونات موجبة Cations وأخرى سالبة Anions وعلى استخدام الأغشية شبه النفاذة والتي تسمح بمرور الأيونات الموجبة أو السالبة. وأهم العوامل التي تتحكم في تصميم محطات الديلزة :

١ ــ تركيز الأملاح.
٢ ــ معدل سريان الماء.
٣ــ درجة حرارة المياه.
٤ ــ نوع الأغشية المستخدمة.
٥ ــ كمية الكهرباء اللازمة.

ونظراً لاستهلاك هذه الطريقة الكبير للكهرباء وتأثرها بظروف التشغيل المختلفة واحتياجها للصيانة الدائمة فإنها لا تلاقي إقبالاً في مجال تحلية مياه البحر، وأكثر المحطات الموجودة من هذا النوع صغيرة السعة وتستخدم في الأغراض الصناعية. ومما تجدر الإشارة إليه أن هذه الطريقة وكذلك طريقة التناضح العكسي والتبخير مع

ضغط البخار تستهلك الطاقة الكهربائية لتحريك مضخات الضغط أو ضاغطات البخار بينما تعمل محطات التبخير متعدد المراحل (الفعاليات) ومحطات التبخير الومضي باستخدام البخار والذي يستفاد منه في توليد الكهرباء. لذا فإن هاتين المحطتين تعتبر ذات غرض مزدوج أي تنتج الماء العذب والكهرباء بينما تعد المحطات الأخرى ذات غرض فردي. وهذا ما جعل لمحطات التبخير الومضي إقبالاً كبيراً يزيد عن ٧٥٪ من مجموع المحطات العالمية.



الفصل الرابع
التلوث الناشئ عن المخلفات السائلة والصلبة

٤ ــ ١ مقدمــة.

إن تمتع الإنسان ورفاهيته بالصناعات المتطورة ومنتجاتها المختلفة انتج عدداً كبيراً من المخلفات والنفايات السائلة والصلبة والتي شوهت الطبيعة ولوثتها وطمست المعالم الجمالية فيها، فأصبحت تشكل بؤراً لتجمع القمائم ومستنقعات تضم المياه الملوثة وفي كليهما تنتشر الأمراض وتنطلق الملوثات إلى الهواء او إلى باطن الأرض.

إن التمدد العمراني وزيادة السكان المضطرد وعدم التخطيط السليم إضافة إلى الطرق العشوائية التي كانت تستخدم في التخلص من النفايات السائلة والصلبة ساعد على تراكم هذه المخلفات وأبرزها كمشكلة من مشاكل المدنية التي تحتاج إلى حل عاجل ليس فقط لصون المصادر الطبيعية ولا لأسباب اقتصادية بل لحماية البيئة وصونها من هذه الفضلات الخطيرة بعد أن وصلت إلى مستوى عال من التراكم وازدياد معدل تكونها في كل عام.

وليس بعيداً عنا ما حصل لنهر الراين من تلوث بسبب تسرب النفايات إليه والعدد الكبير من المستنقعات التي تفجرت في الولايات المتحدة الأمريكية وغيرها إلى جانب أن كثيراً من مدننا العربية أصبحت تسبح فوق طبقة من مياه المجاري المتسربة من (بيارات) المنازل.

إنه يجب التأكيد على أن الحلول المطلوبة لحل مشكلة التلوث بالمخلفات السائلة والصلبة يجب ألّا ينظر إلى عائدها الاقتصادي البحت بقدر ما ينظر إلى الفوائد الجمة التي تعود على المدن على المدى الطويل وما يمكن أن ينتظر المدن من مخاطر في حالة الإهمال إذا أجلت عملية الحد والتحكم في هذه الملوثات الخطيرة. وسوف نعرض فيما يلي بشيء من التفصيل إلى أنواع هذه المخلفات وطرق التحكم والتخلص السليم منها.

٤ ــ ٢ المخلفات السـائلة.

تقذف المدن كميات كبيرة من مياه المجاري المحتوية على أنواع مختلفة من الملوثات والتي قد تكون بؤرة ملائمة لانتشار الامراض وتكاثر الجراثيم وانبعاث الملوثات إلى جانب تأثيرها على التربة ومكامن المياه الجوفية القريبة من سطح الأرض ويبين الجدول ٤ ــ ١ كمية مياه المجاري المتدفقة إلى محطة معالجة مجاري•مدينة الرياض.

جدول ٤ ــ ١ كمية مياه المجاري في مدينة الرياض (بالمتر المكعب)

	١٤٠٣هـ	١٤٠٤هـ	١٤٠٥هـ
معدل التدفق الشهري للعام	٢ر٩٨٦ر٦٠٨	٣ر٦١٥ر٣١٧	٥ر٢٥٠ر١١٧
أقل معدل شهري	١ر٩٢٤ر٩٠٠ (شهر محرم)	٣ر٠١٧ر٤٠٠ (شهر ربيع ثاني)	٤ر٠٣٧ر٦٠٠ (شهر محرم)
أعلى معدل شهري	٣ر٥٦٩ر٨٠٠ (شهر جماد ثاني)	٤ر٠٩٨ر٣٠٠ (شهر ذو الحجة)	٦ر٠٣٥ر٧٠٠ (شهر ذو الحجة)
المجموع الكلي السنوي	٣٤ر٩٩٠ر٢٩١	٤٣ر٣٨٣ر٨٠٠	٦٣ر٠٠١ر٤٠٠

إن عملية معالجة المياه أمر ضروري للتخلص الصحي والسليم من هذه المياه الملوثة ومصدر إضافي للمياه يمكن استخدامه في الزراعة والري أو أعمال التنظيف. وتبرز أهمية معالجة المياه في المدن الكبيرة حيث ترتفع كمية المياه الملوثة ويزيد الطلب على المياه في المرافق العامة.

والمخلفات السائلة ليست فقط تصدر من المنازل بل أن المصانع المختلفة تنتج كمية كبيرة من هذه المخلفات تحتوي على أنواع كثيرة من الملوثات الكيميائية الضاره وبقايا بعض المعادن الخطرة كالكروم والزئبق والفاناديوم وغيرها. وينبغي عند معالجة المخلفات السائلة التفرقة بين مخلفات المنازل والمخلفات الصناعية لإمكانية استخدام طرق المعالجة المناسبة. وسنذكر فيما يلي وصفاً مبسطاً لبعض هذه الطرق وذلك بعد بيان استخدامات المياه والمواصفات اللازمة لكل استخدام.

٤ ـــ ٣ استخدامات المياه ومواصفاتها.

تغطى المياه ما يقارب ٨٠٪ من سطح الكرة الأرضية غير أن نسبة بسيطة منها يمكن استخدامه مباشرة للشرب أو الري أو سائر الأنشطة الإنسانية الأخرى. كما ويتعذر وجود ماء نقي (من الجهة الكيميائية) في الطبيعة، ذلك أن الماء يعتبر مذيباً جيداً لكثير من المواد. ولا يعني هذا عدم وجود كميات من الماء على الأرض أو في جوفها صالحة للاستعمال المباشر. إذ أن وجود كميات مذابة من مواد مختلفة في الماء لا يمنع من استعماله إذا لم تتجاوز الحدود الصحية المسموح بها كماً ونوعاً.

وبذلك يعتبر الماء أوفر موجود وأعز مفقود، إذ تعاني الدول قليلة الأمطار (الجافة) وعديمة الأنهار من شح في مصادر المياه مع تزايد الاستهلاك. وهذا ما تجابهه دول الخليج العربي والتي ازداد فيها الاستهلاك المائي بزيادة عدد السكان وارتفاع مستوى المعيشة والمتطلبات اليومية إلى جانب دخول دول المنطقة إلى عالم الصناعة والتصنيع ومحاولة بعضها الوصول إلى مرحلة الاكتفاء الذاتي من المنتجات الزراعية، ومما لاشك فيه أن الزراعة تستهلك كميات كبيرة من المياه تصل إلى ما يعادل ٩٠٪ من الاستهلاك العالمي للمياه.

ويبين الجدول ٤ ــ ٢ ارتفاع الطلب على المياه في دول الخليج العربي للفترة ١٩٨٠ ــ ١٩٨٥م.

جدول ٤ ــ ٢ الطلب على المياه في دول الخليج العربي (مليون جالون يومياً)

الدولة	١٩٨٠م	١٩٨٥م
البحرين	٦٧٫٦٠٨	٧٢٫٤٥٤
الكويت	٥٨٫٧٤١	٨٥٫٨٥٠
عمان	٤٢٫٨٩٠	ــ
قطر	٢٧٫٥٠٦	٣٢٫٨٧٦
السعودية	٥١٣٫٢٨٢	٥٩٢٫١٩٨
الامارات	ــ	٢٥٫٩٩٥

ويتفاوت معدل الاستهلاك الفردي للمياه وفقاً لنمط الحياة وتبعاً للإستهلاك العام للمنطقة، ففي الولايات المتحدة الأمريكية يقدر الاستهلاك اليومي للفرد بنحو ٥٦٨ لتراً (١٥٠ جالوناً) بينما يكون بحدود ٢٤٥ لترا (٦٥ جالوناً) في منطقة الخليج العربي. وعلى الرغم من ضخامة هذا الاستهلاك إلَّا أن المعدل الفعلي للاستهلاك الفردي متواضع بمقابل الاستخدامات والاستعمالات الأخرى للمياه في الصناعة والزراعة. فقد كانت نسبة الاستهلاك الفردي للمياه في الولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٧٠م حوالي ٨٪ بينما استخدمت نسبة ٥٧٪ في الأغراض الصناعية و ٣٥٪ في الزراعة والري وذلك من مجموع الاستهلاك الذي بلغ ٣٧٠ بليون جالون في ذلك العام. وتستهلك أيضاً في دول الخليج العربي كميات كبيرة من المياه في الزراعة كما يظهر من جدول ٤ ــ ٣. لذا فإن للزراعة النصيب الأكبر في استهلاك المياه خاصة في الدول النامية وذلك لانخفاض معدل استهلاك القطاع الصناعي ولحاجة النبات إلى قدر كبير من الماء، إذ أن النباتات تستهلك من المياه ما يعادل ٥٠ مرة من وزنها ويحتاج لانتاج رغيف واحد من الخبز حوالي ٢٫٥٠٠ لتراً من الماء.

جدول ٤ ـــ ٣ كمية المياه المستعملة في الزراعة في دول الخليج العربي(*)

الدولة	المساحة المروية (هكتار)	كمية المياه المستعملة (مليون متر مكعب سنوياً)
البحرين	٢٫٧٠٠	١٦٦
الكويت	٣٫١٣٥	٩٤٠
عمان	٣٦٫٠٠٠	٤٥٠
قطر	١٫٤٦٠	٤٤
السعودية	١٧٨٫٠٠٠	١٣٫٥٠٠
الامارات	٤٫٠٠٠	٣٣١

(*) هيئة الأمم المتحدة، الكتاب السنوي لمنظمة الأغذية الزراعية، مجلد ٤٨ ـــ ١، ١٩٧٤م.

وتقدر كمية المياه في العالم بحوالي ١٥٠٠ مليون كيلومتر مكعب، حوالي ٩٦٪ منها في البحار والمحيطات ونسبة ١٪ فقط قابل للإستعمال موزع بين مياه سطحية في البحيرات والأنهار ومياه جوفية مخزونة في باطن الأرض ومياه معلقة في الهواء على شكل رطوبة، ويختلف نمط إستهلاك المياه من دولة إلى أخرى وفق نوعية السكان ففي الولايات المتحدة الأمريكية يمثل الاستهلاك المنزلي للمياه نحو ٤٠٪ موزعاً على الأوجه التالية :

الشرب وإعداد الطعام ٥٪
غسل الأوعية ٤٪
غسل الملابس ٤٪
تنظيف المنزل ٣٪
ري الحديقة ٣٪
الاستحمام والتغسيل ٣٨٪
دورات المياه ٤١٪

كما وتستهلك الصناعة أيضاً كميات من المياه ويبين الشكل ٥ ــ ١ الاحتياجات المختلفة لبعض الصناعات المعروفة موزعة إلى مجموعات ثلاث حسب كمية الاستهلاك ويكون استهلاك المياه في الصناعة على شكلين رئيسيين هما :

مياه التبريد Cooling Water.

وهذا النوع من المياه يستخدم بكثرة في الصناعات الكيميائية والبترولية لغرض تبريد بعض المنتجات الوسيطة أو النهائية أو حفظ درجة حرارة بعض المفاعلات الكيميائية عند درجة حرارة معينة.

مياه العمليات Process Water

وتختلط المياه المستخدمة هنا مع الخامات أو المنتجات أثناء عملية التصنيع وتضاف هذه المياه على أشكال مختلفة وفقاً للصناعة المطلوبة. وتستهلك صناعة الورق وتعليب الفواكه والخضروات ومسابك الحديد كميات كبيرة من هذا النوع من المياه.

المجموعة الأولى : تحتاج لأكثر من ١٠٠٫٠٠٠ جالون ماء لكل طن إنتاج.

١×١٠^{٥} ٢×١٠^{٥} ٣×١٠^{٥} ٤×١٠^{٥}

خيوط صناعية سيلولوزية ٢٠٠ ٤٦٢ جالون/طن

خيوط صناعية غير سيلولوزية ١٠٠ ٢٠٢ جالون/طن

عجينة الورق وتصنيعه ٠٠٠ ١٣٠ جالون/طن

كيماويات عضوية صناعية ٧٠٠ ١٢٤ جالون/طن

مطاط صناعي ٦٠٠ ١١٠

نحاس ٠٠٠ ١٦

المجموعة الثانية : تحتاج مابين ١٠،٠٠٠ جالون و ١٠٠،٠٠٠ جالون لكل طن إنتاج

1×10^{4} — 2×10^{4} — 3×10^{4} — 4×10^{4} — 5×10^{4} — 6×10^{4} — 7×10^{4} — 8×10^{4} — 9×10^{4}

الألومنيوم ٠٣٠ ٩٨ حالون/طن

العزل والنسيج ٨٠٠ ٦٩ جالون/طن

الصلب ٦٠٠ ٦٢ جالون/طن

البلاستيك والراتنجات ٦٠ ٤٧ جالون/طن

الأسمدة الفوسفورية ٦٠٠ ٣٥ جالون/طن

القلويات والكلور ٨٠٠ ٢٩ جـ/ط

الأسمدة النيتروجينية ٥٠٠ ٢٨ جالون/طن

تجليد الخضروات
٤٠٠ ٢٢ جالود/طن

تعليب فواكه وخضروات
٧٠٠ ١٩ جالون/طن

كيماويات غير عضوية
٥٠٠ ١٤ جالون/طن

تكرير بترول
٩٠٠ ١٣ جالون/طن

مسابك حديد
وصلب ٤٠٠ ١٢
جالون/طن

المجموعة الثالثة : تحتاج إلى أقل من ١٠،٠٠٠ جالون لكل طن إنتاج

1×10^{3} — 2×10^{3} — 3×10^{3} — 4×10^{3} — 5×10^{3} — 6×10^{3} — 7×10^{3}

ذبح وتنظيف الدجاج ٧٣٨٩ جالون/طن

تحويل الورق ٦٥٨٤ جالون/طن

منتجات الالبان
١٦٩٢ جالون/طن

الاسمنت
١٣٦٠ جالون/طن

شكل ٤ ـــ ١ احتياجات الصناعات المختلفة من المياه(*).

(*) محمد أمين منديل: مقدمة عن تكنولوجيا معالجة المياه.

إن هناك ثلاث عوامل هامة لتحديد إمكانية استخدام المياه للأغراض المختلفة هي :

ــ التركيب العام للمواد الذائبة والعالقة.
ــ خطورة هذه المواد على ذلك الاستعمال المعين.
ــ مدى قبول هذه المياه من طعم ورائحة للاستعمال المقصود.

وعلى أية حال فإنه لمعرفة المواصفات اللازمة للمياه ومدى صلاحيتها يجرى عدد من التحاليل التوصيفية مثل :

ــ المواصفات الطبيعية.
(وتشمل درجة الحرارة والعكارة Turbidity وتغير اللون والطعم والرائحة)
ــ المواصفات البكترولوجية.
(وتدل على حالة المياه الصحية وخلوها من البكتريا والفيروسات)
ــ المواصفات الكيميائية.
(وتشمل الاس الهيدروجيني pH، الأملاح الذائبة، الأيونات الذائبة، تركيز بعض العناصر المعدنية السامة كالزرنيخ والرصاص وغيرهما. كما تشمل أيضاً معرفة عسر الماء والغازات الذائبة).

ولقد سبقت الإشارة إلى مواصفات المياه اللازمة للشرب في جدول ٣ ــ ١ (الفصل الثالث). ويبين الجدول ٤ ــ ٤ مواصفات مياه الري معبراً عنها بمجموع الأملاح الذائبة.

ومن أهم المواصفات العامة التي يجب توفرها في مياه الشرب ما يلي :

١ ــ يجب ألّا تتجاوز نسبة المواد العضوية فيها عن ٢ ملجم في اللتر.
٢ ــ يجب ألّا تتجاوز نسبة وجود النشا فيها عن ٠٫٢ ملجم في اللتر.
٣ ــ يجب أن يكون تركيز الكلور قليلاً جداً.
٤ ــ يجب أن يكون تركيز الفلور فيها من ٠٫٥ إلى ١٫٥ ملجم في اللتر.
٥ ــ أن تكون عديمة اللون والطعم والرائحة.
٦ ــ وفق المواصفات المطلوبة والموضحة في جدول رقم ٣ ــ ١ من حيث درجة الحموضة وتركيز الأملاح.

جدول ٤ ــ ٤ : صلاحية المياه للري وفقاً لكمية الأملاح المذابة(*)

مجموعة الأملاح الذائبة	مدى الصلاحيـــة
أقل من ٣٢٠	صالحة لجميع أنواع الأراضي الزراعية.
٣٢٠ ــ ٦٤٠	صالحة للري مع وجوب الإكثار من كمية المياه في كل رية.
٦٤٠ ــ ١٢٨٠	يمكن استعمالها في الأراضي الجيدة الصرف مع اختيار نباتات تتحمل الملوحة.
١٢٨٠ ــ ١٩٢٠	يجوز استعمالها مع النباتات التي تتحمل هذه الملوحة كالتين والزيتون.
١٩٢٠ ــ ٢٥٦٠	لا تستعمل إلّا للضرورة القصوى.
أكثر من ٢٥٦٠	لا يسمح باستعمالها لأغراض الري.

(*) نزيه أسعد، هندسة الري، الجزء الأول، الطبعة الثانية، دار الكتب العصرية ١٩٧٧م.

كما وأن مياه الري يجب أن تكون ملائمة للنبات والتربة وأن تكون :

١ ــ ذات تركيز منخفض من الصوديوم، ذلك أن زيادة تركيز الصوديوم عن ٢٠٪ يقلل من نفاذية التربة، لذا فإن المياه تصنف حسب امتصاص الصوديوم.

٢ ــ ذات تركيز أقل من ٣٥٠ جزء في المليون من الكلوريدات. لأن ارتفاع تركيز الكلوريد في الماء يسبب تساقط أوراق النبات لامتصاص أيون الكلور في الخلايا الورقية.

٣ ــ خالية من العناصر النادرة مثل الباريوم والزرنيخ والسيانيد والرصاص لاحتمال تراكمها وزيادة تركيزها.

وللمياه الصناعية خاصة مياه العمليات مواصفات خاصة تختلف باختلاف الغرض المستخدمة فيه. فهناك أنواع من الصناعات لا تتطلب سوى التحكم في

ترسيب الأملاح «القشور» Scale Deposition مثل استخدام المياه في عملية حقن آبار البترول وغسل الغازات من الشوائب الذائبة في الماء وتكييف الهواء باستخدام الرطوبة كما في صناعة النسيج. ومن الصناعات ما يتطلب مواصفات قريبة من مواصفات مياه الشرب كصناعة الورق إلا أنها تحتاج إلى الإهتمام بمنع مسببات عسر الماء. وتحتاج الصناعات الغذائية إلى جانب ذلك مستوى أقل من الأملاح وعناية بالتعقيم. وتستلزم عمليات توليد البخار (المراجل boilers) مياه عالية النقاوه تصل إلى ١ جزء في المليون من كمية الأملاح الكلية المذابة وتختلف هذه النقاوة حسب ضغط البخار اللازم وتحتاج الصناعات الالكترونيه وصناعة الأدوية إلى مياه فائقة النقاوة وهي مياه منزوعة الايونات.

٤ ـ ٤ طرق معالجة مياه المجاري والمياه الصناعية.

إن الغرض الأساسي من معالجة المياه يكمن في :

ـ منع تلوث البيئة بالبكتريا والجراثيم والمخلفات الضارة الموجودة في المياه المستهلكة.

ـ المحافظة على التربة وعلى المنشآت العمرانية من وجود هذه المياه سائبة على السطح.

ـ منع تلوث المياه الجوفية قريبة المستوى حديثة التكوين.

ـ المحافظة على المياه الصالحة من الاختلاط بهذه المياه الملوثة.

ـ استعمال المياه المعالجة في أغراض مختلفة.

وفي المملكة العربية السعودية ارتفعت كمية المياه المعالجة إلى نحو ١٠٠ مليون متر مكعب سنوياً وذلك في عام ١٤٠٥هـ وأمكن استخدام كمية من هذه المياه المعالجة في أغراض الري والزراعة والتي تستهلك نحو ٨٤٪ من مجموع استهلاك المياه في المملكة في نفس العام.

ولقد كانت مساهمة محطات تنقية المياه في المملكة بنحو ٥٪ من مجموع المياه المتوفرة ويتوقع أن ترتفع إلى ٢٠٪ في عام ١٤٢٠هـ.

وتعتبر محطة معالجة مياه المجاري في الرياض نموذجاً حسناً في مواكبة التطور

والتحضر المستمر في مدينة الرياض، إذ أنشئت المحطة في عام ١٣٩٢هـ بطاقة متوسطة قدرها ٤٠,٠٠٠ متر مكعب باليوم من مياه المجاري ثم ارتفعت هذه الطاقة التشغيلية المتوسطة إلى ٨٠,٠٠٠ متر مكعب باليوم عام ١٤٠٠ ثم إلى ٢٠٠,٠٠٠ متر مكعب باليوم في عام ١٤٠٢هـ. وطاقتها القصوى الحالية نحو ٣٧٠,٠٠٠ متر مكعب باليوم. وقد جاءت هذه التوسعة مواكبة للزيادة السكانية في الرياض والتي كانت نحو ٦٦٥,٠٠٠ في عام ١٣٩٤هـ والتي تزيد عن المليون في الوقت الحاضر.

وتشمل محطة معالجة المياه في الرياض ما يلي :

٨ مصافي ميكانيكية.
١٠ أحواض تهوية.
٨ أحواض ترسيب.
٨ مرشحات بيولوجية.
١٠ أحواض ترسيب ثانوية.
٣ أحواض لتخثير الحمأة.
٨ خزانات لهضم الحمأة.

إضافة إلى أحواض الصقل والتلامس، والمعالجة بالكلور. ويبين الجدول ٤ ـــ ٥ مواصفات مياه المجاري الداخلة إلى محطة الرياض مقارنة بتلك الموجودة في طرابلس/ليبيا كما ويظهر في الجدول ٤ ـــ ٦ تحليل المياه الخارجة من المحطة بعد المعالجة مقارنة بإحدى المحطات الأمريكية والبريطانيه.

جدول ٤ ـــ ٥ : خواص مياه مجاري المدن في الرياض وليبيا (جزء في المليون)(*)

الخاصية	الرياض	طرابلس/ليبيا
الأس الهيدروجيني	٧,٣	٧,٢
القلوية (كربونات كالسيوم)	٣١٠ ـــ ٤٨٠	٢,٥
الكلور	٣٥٠ ـــ ٣٧٠	٢٧٧

تابع جدول ٤ ــ ٥

الخاصية	الرياض	طرابلس/ليبيا
كمية الأكسجين اللازمة كيميائياً	٥٠٠ ــ ٦٠٠	٥٠٥
كمية الأكسجين اللازمة حيوياً	٢٠٠ ــ ٣٠٠	٢٠٠ ــ ٣٥٠
غاز النشادر	٤٠ ــ ٤٥	٢٨ ــ ٣٧
مجموع المواد الصلبة الذائبة	١٤٠٠ ــ ٢٢٠٠	٨٥٠
المواد العالقة الصلبة	٤٠٠ ــ ٥٠٠	١١٢ ــ ٣٩٠
المنظفات الصناعية	٢٠	ــ
الكوليفورم	مليون وحدة لكل مليلتر	ــ

(*) رجاء أبو السمن، معالجة مياه المجاري في المملكة العربية السعودية، الحلقة العلمية عن مصادر المياه في المملكة العربية السعودية، جامعة الملك سعود، الرياض ٤ ــ ٧ رجب ١٤٠٣هـ.

جدول ٤ ــ ٦ : تحليل للمياه الخارجة من محطة معالجة المياه في الرياض بالمقارنة مع إحدى محطات المعالجة في أمريكا وبريطانيا (جزء في المليون)(*)

الخاصية	محطة الرياض	محطة لوبوك في تكساس	محطة لوج فورد في بريطانيا
الأس الهيدروجيني	٧٫٩	٧٫٤ ــ ٧٫٥	٦٫٥ ــ ٧٫١
القلوية (كربونات الكالسيوم)	٣٣٠	٢٣٦ ــ ٢٦٢	٨٠ ــ ١٠٨
ايون الكلور	٣٧٠	٣١٨	١٣٤ ــ ١٥٦
الأكسجين الحيوي المستهلك	٢٠	٨ ــ ٢٢	ــ
الأكسجين الكيميائي المستهلك	١٠٠	٣٢ ــ ١٢٩	١٠ ــ ٢٢
مجموع المواد الصلبة الذائبة	١٧٠٠	١١٩٤ ــ ١٢٣٥	ــ
المواد الصلبة العالقة	٣٠	٨ ــ ١٩	٦٫٠ ــ ٢٫٠
غاز النشادر	٤٠	١٢ ــ ١٥	٢٫٠ ــ ٥٫٠
المنظفات الصناعية	٣٫٤	ــ	ــ
الكوليفورم	٢٠ ــ ٥٠ وحدة لكل مليلتر	ــ	ــ
		ــ	ــ

(*) المرجع السابق.

وتتلخص خطوات معالجة المياه على النحو التالي :

١ ــ المعالجة المسبقة.

وتشمل فصل المواد الصلبة العالقة والزيوت الطافئه. وذلك باستخدام المصافي Screens أو أحواض الرمل.

٢ ــ المعالجة الأولية.

وتكون إما بطرق المعالجة الأولية الكيميائية مثل استخدام بعض المواد الكيميائية في عملية تجميع وتعويم المواد الصلبة الدقيقة، أو باستخدام طرق المعالجة الطبيعية كالترسيب والترويق. وتنخفض كمية المواد العالقة بعد عملية المعالجة الأولية إلى نحو ٦٠٪ وكذلك تنخفض نسبة استهلاك الاكسجين، كما وتشمل طرق المعالجة الأولية أيضاً تهوية المياه لرفع كفاءة البكتريا بوجود كميات كبيرة من الأكسجين.

٣ ــ المعالجة البيولوجية.

عند خروج المياه من أحواض الترسيب الأولية تتجه نحو المرشحات البيولوجية. لتقوم البكتريا الهوائية بالتغذي على المواد العضوية الموجودة في المياه. وتتكون المرشحات البيولوجية من احواض صلبة غير منفذة مليئة بالحجارة الصغيرة التي تشكل سطحاً ملائماً لالتقاء البكتريا بالمواد العضوية أثناء تدفق المياه خلال الفراغات البينية في طبقات الحصى. كما وتشمل المعالجة البيولوجية أيضاً عملية هضم الحمأة المنشطة Activated Sludge. تقوم بعض أنواع من البكتريا اللاهوائية بهضم وتحليل المواد العضوية تحت ظروف ملائمة من الحرارة والتركيز الهيدروجيني داخل خزانات خاصة. ويتم التخلص في هذه المرحلة من كمية كبيرة من البكتريا والفيروسات الضارة كما ويمكن استعمال الحمأة المهضومة بعد تجفيفها كمحسن للتربة. وينتج من هذه العملية كمية كبيرة من غاز الميثان الذي يحرق في موقع محطة التنقية.

ويلي هذه المرحلة في الغالب أحواض الترسيب النهائية والتي ينتج منها الحمأة المهضومة وكمية من غاز الميثان ويعاد جزء من الحمأة بعد تنشيطها إلى المرشحات البيولوجية لاستخدامها مرة أخرى.

٤ ــ مرحلة التعقيم.

يستخدم غاز الكلور لتعقيم المياه المنتجة ولقتل البكتريا والفيروسات الضارة وأيضاً لإزالة الروائح الكريهة.

وحتى تتم الاستفادة من هذه المياه المعالجة في الزراعة يجب أن تكون وفق المواصفات المبينة في الجدول ٤ ــ ٧ التالي :

جدول ٤ ــ ٧ : مواصفات المياه المعالجة لاستخدامها في الأراضي الزراعية في المملكة العربية السعودية.

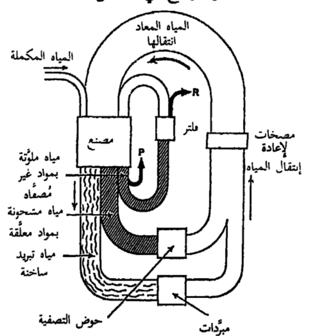
المادة	الحد الأقصى المسموح به (جزء في المليون)	المادة	الحد الأقصى المسموح به (جزء في المليون)
الأس الهيدروجيني	٦ ــ ٨٫٤	الرصاص	٠٫١
الأكسجين الحيوي المستهلك	١٠	الليثيوم	٠٫٠٧
المواد الصلبة العالقة	١٠	المنجنيز	٠٫٢
الألومنيوم	٥	الزئبق	٠٫٠٠١
الزرنيخ	٠٫١	الموليبدنيوم	٠٫٠١
البيريليوم	٠٫١	النيكل	٠٫٠٢
البورون	٠٫٥	النتريت	١٠
الكادميوم	٠٫٠١	السيلنيوم	٠٫٠٢
الكلور	٢٨٠	الفاناديوم	٠٫١
الكوبالت	٠٫٠٥	الزنك	٤٫٠
النحاس	٠٫٤	الفينول	٠٫٠٠١
السيانيد	٠٫٠٥	الكوليفورم	
الفلور	٢٫٠	الكلي	٢٫٢ وحدة ١٠٠٫٠ مليلمتر
الحديد	٥٫٠	العكارة	١٫٠ وحدة عكارة

(*) محمد العودات وعبد الله باصهي، التلوث وحماية البيئة، عمادة شؤون المكتبات ــ جامعة الملك سعود الرياض، ١٤٠٦هـ.

أما بالنسبة للمخلفات السائلة الصناعية فإنه يجب مراعاة المبادىء الأساسية التالية:

(أ) فصل المياه الملوثة حسب نوعية التلوث وعدم خلط المياه قليلة التلوث بالمياه الملوثة بالأحماض والمعادن وغيرها وكذلك عدم خلط مياه التبريد والتي في الغالب لا تحتوي على ملوثات خطيرة مع مياه العمليات والتي تكون محتوية على درجة عالية من التلوث.

(ب) محاولة إعادة استعمال المياه، خاصة مياه التبريد بعد خفض درجة حرارتها وكذلك المياه المستخدمة في فصل الغازات بعد إزالتها من المياه. وبهذا يقل استهلاك المياه في المنشأة الصناعية ولا يلجأ إلّا لقذف كمية قليلة من المياه المستهلكة كما هو موضح في الشكل ٤ ـــ ٢.



شكل ٤ ـــ ٢ صورة بيانية لإعادة إنتقال أو تسيير المياه في مصنع مع معالجتها وتجديدها(*).

(*) رينة كولاس، تلوث المياه، ترجمة محمد يعقوب منشورات عويدات، بيروت، لبنان، ١٩٨١م.

P = خسائر متنوعة، R = بقايا.

(جـ) استرجاع المواد الثمنية الموجودة في المياه قبل قذفها.

إن مراعاة هذه المبادىء الهامة بالنسبة للمخلفات الصناعية السائلة تحد من مشكلتها وتجعل عملية التخلص منها أمراً غير شاق خاصة إذا ماعولجت المعالجة اللازمة والتي بدونها سوف تتأثر مصاب التخلص بشكل كبير نظراً لخطورة المخلفات الصناعية وارتفاع سميتها.

وقبل ختام هذا الموضوع نجد أنه لزاماً أن نشير إلى نوع هام من المخلفات السائلة الا وهو زيوت التشحيم والتي يجب عند التخلص منها مراعاة ما يلي:

١ ـــ أن يعاد تكرير الزيوت المستعملة ما أمكن.
٢ ـــ أن يتم حفظ سجلات عن كميات ونوعيات ومصدر زيوت النفايات.
٣ ـــ تحديد أنواع ومواصفات الزيوت التي يلزم أخذ تصريح للتخلص منها.

ويبين الجدول ٤ ـــ ٨ كيفية التخلص من الزيوت في بعض الدول الأوربية.

جدول ٤ ـــ ٨ : التخلص من الزيوت المستعملة في بعض الدول الأوروبية(*)

القطر	الكمية المقدرة بالطن	تحرق في الموقع أو تستخدم كوقود	يعاد تكريرها	تدفن
الدانمارك	٨٠,٠٠٠	٪٨٥	٪٥	٪١٠
ألمانيا	٥٠٠,٠٠٠	٤٠ ـــ ٥٠٪	٥٠ ـــ ٥٥٪	ـــ
فرنسا	٤٠,٠٠٠	١٠ ـــ ١٥٪	٥٥ ـــ ٦٠٪	٢٥ ـــ ٣٠٪
إيطاليا	٣٠,٠٠٠	٪٣٠	٪٣٠	٪٣٠
بريطانيا	٣٥,٠٠٠	٪٦٠	٪١٥	٪٢٥
هولاندا	١١٠,٠٠٠	٪٩٠	٪١٠	ـــ

(*) عبد القادر كوشك، ثروة النفايات، الحقلة الدراسية الثانية، المؤتمر العام الرابع لمنظمة العواصم والمدن الإسلامية، القاهرة ١٧ ـــ ٢٢ محرم، ١٤٠٧هـ.

٤ ــ ٥ المخلفات الصلبة.

تشير مشكلة المخلفات الصلبة سواء المنزلية أو الصناعية مشكلة كبيرة في سائر انحاء العالم نظراً لسهولة تراكمها وكونها بؤرة ملائمة لتجمع الحشرات والأمراض وانتشار الجراثيم والملوثات وما ينجم عنها من مضايقات للناس بسبب الروائح الكريهة التي تخرج منها إلى جانب أنها تخدش الجانب الجمالي للمدن بمظهرها البشع شكلاً ومضموناً. وسوف نتعرض للأنواع المختلفة من المخلفات الصلبة والطرق الممكنة للتخلص منها.

تقدر المخلفات المنزلية في مدينة جده بنحو ١٢٥٠ طناً في اليوم إلى جانب ١٣٠٠ متر مكعب يومياً من مخلفات البناء وذلك في عام ١٤٠٢هـ وتزيد هذه المخلفات سنوياً لزيادة عدد السكان وارتقاء متطلباتهم اليومية. ويبين الجدول ٤ ــ ٩ كمية النفايات المجموعة في مدينة الرياض للأعوام ١٩٧٩ وحتى ١٩٨٣م وكذلك عدد السكان التقديري ومعدل النفايات للفرد الواحد.

جدول ٤ ــ ٩ النفايات المجموعة في مدينة الرياض(*)

السنة	الكمية (كيلو جرام)	عدد السكان	معدل النفايات للفرد (كيلوجرام/الفرد/اليوم)
١٩٧٩	١٫١٣٠٫٣٩١٫٤١٧	٨٣٣٫٠٠٠	٤٫٣
١٩٨٠	١٫٧٩٦٫٥٣٠٫٩٥٦	٩١٤٫٠٠٠	٥٫٤
١٩٨١	٣٫٦٥٦٫٠٠٠٫٠٠٠	١٫٠٠٣٫٠٠٠	١٠٫٠
١٩٨٢	٥٫٠٣٢٫٠٠٠٫٠٠٠	١٫١٢٥٫٠٠٠	١١٠
١٩٨٣	٦٫٤٠٨٫٠٠٠٫٠٠٠	١٫١٤٠٫٠٠٠	١٢٫٧

(*) النظافة في مدينة الرياض، إصدار أمانة مدينة الرياض.

وتختلف نوعية المخلفات المنزلية من منطقة إلى أخرى ويهتم كثيراً بوجود عنصر النيتروجين فيها لإمكانية نمو البكتريا وتحلل المواد العضوية وذلك في حالة الاستفادة من هذه المخلفات لتحويلها إلى أسمدة. ويعبر عن المحتوى النيتروجيني بنسبته إلى الكربون. وغالباً ما تحدد نسبة الكربون إلى النيتروجين لتصنيف المخلفات المنزلية على أساسها. وتحتوي النباتات والخضروات بشكل خاص على نسبة عالية من النيتروجين بينما يحتوي الورق على نسب قليلة من النيتروجين، لذا فإنه يصعب تحللها عضوياً بالنسبة للخضروات والمخلفات النباتية والتي يستفاد منها كمصدر للنيتروجين في عملية التخمير وتكوين الأسمدة. وعموماً فإن المخلفات الصلبة في المملكة العربية السعودية يمكن تصنيفها كالتالي :

١ ـــ النفايات الزراعية.

وتشمل نفايات المزارع والحدائق ومخلفات الحيوانات والمسالخ وجثث الحيوانات.

٢ ـــ النفايات البلدية.

مثل القمامة القابلة للحرق كالورق والقمامة غير القابلة للحرق كالمعادن والنفايات كبيرة الحجم كالثلاجات والمكيفات ونفايات الشوارع والمنتزهات إضافة إلى النفايات الخاصة الصادرة من المستشفيات مثلاً.

٣ ـــ السيارات المهجورة (الخردة).

٤ ـــ النفايات الصناعية.

٥ ـــ بقايا الإنشاءات والتعمير.

مثل الخشب والخرسانة والجص والطوب والأسلاك وقطع الفولاذ والتراب والصخور.

هذا وتعتبر النفايات المشعة أكثر المخلفات الصلبة خطورة وتعاني منها الدول المتقدمة والتي تستخدمها في محطات توليد الكهرباء أو في المستشفيات ومراكز الأبحاث. ويتم التخلص من النفايات المشعة بعد تحويلها إلى غازات بإطلاقها إلى الهواء عند ارتفاع لا يقل عن ثلاثة أميال في حالة خلوها من الجسيمات المشعة كبيرة الحجم، كما ويتخلص من النفايات الصلبة المشعة بدفنها في مقابر إشعاعية

خاصة وفي أماكن وأعماق مناسبة. ولله الحمد لا توجد في المملكة العربية السعودية مشكلة من هذا النوع. ويبين الجدول رقم ٤ ــ ١٠ تقديرات أنواع النفايات في مدينة الرياض.

جدول ٤ ــ ١٠ : تقديرات أنواع النفايات في مدينة الرياض عام ١٩٨٣م(*)

نوع النفايات	النسبة المئوية	كمية النفايات السنوية (كيلو جرام)	كمية النفايات اليومية لكل فرد (كيلو جرام)
ــ النفايات الزراعية	ــ	ضئيلة	ــ
ــ النفايات البلدية :			
المخلفات	٩٫٢	٥٨٠٫٣٠٠٫٠٠٠	١٫٠٦
القمامة	١٢٫٥	٧٩٥٫٨٠٠٫٠٠٠	١٫٤٥
النفايات الكبيرة	٠٫٥	٣٣٫٢٠٠٫٠٠٠	٠٫٠٦
نفايات أخرى	٠٫٣	١٦٫٥٠٠٫٠٠٠	٠٫٠٣
ــ السيارات المهجورة	ــ	غير منتظمة	
ــ النفايات الصناعية	٣٫٥	٢٣٢٫٢٠٠٫٠٠٠	٠٫٤٠
المجموع	٢٦	١٫٦٥٨٫٠٠٠٫٠٠٠	٣٫٠٠
مخلفات الانشاءات	٧٤	٤٫٧٥٠٫٠٠٠٫٠٠٠	١٤٫٧٠
المجموع الكلي	**٪١٠٠**	**٦٫٤٠٨٫٠٠٠٫٠٠٠**	**١٢٫٧**

(*) النظافة في مدينة الرياض، إصدار أمانة مدينة الرياض.

. وتزيد المخلفات الزراعية في الأرياف عنها في المدن غير أنها ليست ضارة مقارنة بالنفايات الأخرى والتي تعاني منها المدن باستمرار مالم تتم عملية جذرية لإزالة تراكمها داخل وخارج المدن، وعلى الرغم من محدودية تلويث المخلفات

المعدنية الصلبة للبيئة كالسيارات الخربة إلا أنها تعتبر في الغالب مكاناً ملائماً لجذب الناس لإلقاء النفايات إلى جانب إعاقتها للطريق وتشويه الشوارع وقد قدر عدد السيارات الخربة في مدينة جدة ١٠٠,٠٠٠ سيارة في عام ١٤٠٠هـ.

٤ ــ ٦ الطرق المتاحة للتخلص من النفايات الصلبة.

إن تجمع النفايات الصلبة في أي مكان وبشكل مستمر لفترة طويلة يجعل منها بؤرة لنمو الحشرات والقوارض ومصدراً للتلوث جد خطير إلى جانب ما تسببه من مضايقات للقاطنين بجوارها وأمراض كثيرة. لذا فإن الهدف من عملية التخلص من النفايات الصلبة هو :

انقاص حجم النفايات.

انقاص وزنها.

إمكانية الاستفادة منها.

التخلص السليم منها.

وتشمل طرق التخلص من النفايات ما يلي :

١ ــ الطمر الصحي.

وتستلزم هذه الطريقة تهيئة منطقة ملائمة لهذا الغرض، ضغط النفايات لتقليل حجمها حتى يمكن أن تدفن في منطقة محدوده. كما ويمكن استغلال مناطق الدفن لتكثيف المساحات الخضراء بغرس أنواع من الأشجار تتحمل نقص الأكسجين ووجود بعض المواد الضارة العضوية وغاز الميثان. مع ملاحظة عدم إمكانية غرس أي نوع من الأشجار المثمرة أو التي تعيش عليها الحيوانات. تجدر الإشارة إلى أن هذه هي الطريقة المطبقة في مدينة الرياض، انظر إلى شكل ٤ ــ ٣، ٤ ــ ٤.

٢ ــ الحرق.

إن عملية حرق النفايات الصلبة يعتبر طريقة أخرى أكثر تسريعاً لوصول الملوثات إلى الغلاف الجوي خاصة الهواء الجوي ولذا فإنه بطريقته البدائية القديمة لايعتبر وسيلة نافعة للتخلص السليم من النفايات، غير أنه في الوقت الراهن تم توفير وسائل لحرق النفايات مع التحكم بالغازات الخارجة من المحارق لضمان عدم

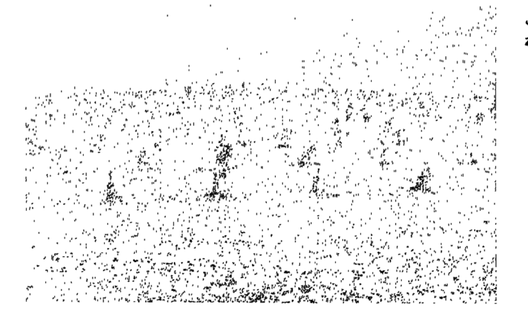
تلويثها للبيئة. ويأمل أن يتم الاستفادة من طاقة الحرق في توليد نوع آخر من الطاقة نظراً لسهولة انتقال الطاقة من حالة إلى أخرى وذلك مثل توليد الكهرباء أو تسخين بعض المواد الداخلة للصناعات المختلفة. تجدر الإشارة إلى أن طريقة الحرق الآلي مطبقة في مدينة جدة.

٣ ــ إلقاء النفايات في المجاري بعد طحنها.

تلجأ وللأسف بعض المدن لإلقاء النفايات والمخلفات الصلبة في شبكة المجاري العامة كما ويلقى البعض هذه المخلفات في البحيرات والبحار مما يسبب إخلالاً كبيراً في البيئة المائية وافساداً للحياة في ذلك القطاع الحيوي ولذا فإن هذه الطريقة غير سليمة وغير مقبولة حتى ولو كان الهدف تنقية ومعالجة مياه المجاري التي تلقى المخلفات الصلبة بها.. ذلك أن هذا يشكل عبئاً على محطة التنقية ويخالف مراحل معالجة المياه المذكورة سابقاً ويولد مواداً صلبة كثيرة إضافية وخطرة.



شكل ٤ ــ ٣ : يبين ضغط المخلفات الصلبة قبل دفنها



شكل ٤ ــ ٤ : غرس الأشجار بالموقع بعد دفن النفايات الصلبة.

٤ ــ التحويل إلى سماد (محسن) للتربة.

والهدف من ذلك هو التخلص الصحي من الفضلات المنزلية وتحويلها إلى مواد عضوية ليس لها ضرر على البيئة بل محتوية على مواد ضرورية لنمو النبات ولإمداد التربة بالعناصر اللازمة لجعلها أنسب وأصلح للزراعة. وتجرى هذه العملية بعد فصل النفايات إلى مجموعات :

المجموعة الأولى : مواد يمكن أن يستفاد منها في التحويل إلى سماد عضوي.

المجموعة الثانية : مواد يمكن إعادة استخدامها.

المجموعة الثالثة : مواد ليس لها فائدة في المجموعتين السابقتين ويتخلص منها نهائياً.

ويبين الجدول ٤ ــ ١١ تركيب النفايات الناتجة من المخلفات غير الإنشائية في مدينة الرياض، ويلاحظ فيه ارتفاع نسبة المواد العضوية والقابلة للحرق بينما تنخفض نسبة المواد غير العضوية التي لا تحترق إلى حوالي ١٩٪ الأمر الذي يجعل مخلفات مدينة الرياض غير الإنشائية مواداً ملائمة للتحويل إلى طاقة حرارية أو إلى سماد عضوي نظراً لارتفاع كمية المواد السليلوزية.

جدول ٤ ـــ ١١ : تركيب النفايات الناتجة من المخلفات غير الإنشائية في الرياض(*)

التركيب	النسبة المئوية	الكمية (طن/سنة)	كمية النفايات اليومية (كيلو جرام/ فرد)
المواد العضوية والقابلة للحرق			
النفايات الورقية	٢٨	٤٧٧٫٨٠٠	٠٫٨٧
نفايات المواد الليفية	٣	٤٩٫٧٠٠	٠٫٠٩
نفايات المواد الغذائية	٣٤	٥٨٠٫٠٠٠	٠٫٠٦
الخشب	١٠	١٦٥٫٨٠٠	٠٫٣٠
البلاستيك	٢	٣٣٫٢٠٠	٠٫٠٦
المطاط/الجلود	١	١٦٫٥٠	٠٫٠٣
المنسوجات	١	١٦٫٥٠	٠٫٠٣
مواد عضوية متفرقة	٢	٣٣٫٢٠٠	٠٫٠٦
المجموع	**٪٨١**	**١٫٣٤٣٫٠٠**	**٢٫٥٠**
المواد غير العضوية التي لا تحترق			
الزجاج	٢	٣٣٫٢٠٠	٠٫٦
المعادن	١٦	٢٨٠٫١٥٠	٠٫٤٦
مواد متفرقة	١	١٦٫٥٠	٠٫٠٣
المجموع	**٪١٩**	**٣١٥٫٠٠**	**٠٫٥٥**
المجموع الكلي	**٪١٠٠**	**١٦٥٨٫٠٠٠**	**٣٫٠٠**

(*) «النظافة في مدينة الرياض»، إصدار أمانة مدينة الرياض.

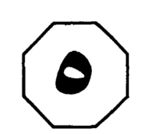
ويمكن وصف عملية تحويل النفايات إلى سماد عضوي بأنها عملية تحليل وتعفن للمواد العضوية بواسطة الكائنات الهوائية الدقيقة Aerobic Micro Organisms عند درجات الحرارة اللازمة (حوالي ٦٠ درجة مئوية). وتتلخص طريقة تحويل النفايات إلى سماد عضوي بما يلي :

ـــ تكويم النفايات.

ـــ تكويم النفايات بعد تصغير حجمها.

ـــ تكويم النفايات بعد تصغير حجمها وفصل المواد غير المرغوب فيها.

ـــ تحلل النفايات داخل محول بيولوجي.



الفصل الخامس
المبيدات وأثرها على تلوث البيئة

---

٥ ــ ١ مقدمــة.

مما لاشك فيه أن الزراعة كانت وستظل مصدراً رئيسياً لغذاء الإنسان، ومصدراً هاماً من مصادر الدخل القومي، وإدراكاً من الدول المختلفة لأهمية هذا المصدر الهام استخدمت الأسمدة والمبيدات الكيمائية لزيادة المحاصيل الزراعية والمحافظة عليها من الآفات المختلفة، حتى أصبحت الآن الأسمدة والمبيدات من مستلزمات الزراعة في العصر الحالي، شأنها في ذلك شأن الماء في الأهمية. والأسمدة المستخدمة حالياً على ثلاثة أنواع هي :

١ ــ الأسمدة الآزوتية (النيتروجينية).
٢ ــ الأسمدة الفوسفاتية.
٣ ــ الأسمدة البوتاسية.

وهناك اتجاه حديث نحو انتاج نوع آخر من الأسمدة يحتوي على هذه الأنواع الرئيسية يعرف بالاسمدة المركبة. والأسمدة في الواقع مركبات كيميائية تحتوي على عنصر أو عناصر ضرورية لتغذية النبات ونموه، كالنيتروجين، والفوسفات، والبوتاسيوم. وتسهم الأسمدة في صناعتها أو في استخدامها في تلويث البيئة بالمخلفات الغازية مثل الأمونيا وأكاسيد النيتروجين ومركبات الكبريت والفلورين، والتي يسهل ذوبانها في الماء، إلى جانب أملاح نترات وكربونات الكالسيوم الصلبة أو بعض المعادن الثقيلة كالفاناديوم.

وعلى أية حال، فإن التلوث الناشيء عن استخدام الأسمدة الكيمائية المختلفة بسيط بالمقارنة بالتلوث الناشيء عن استخدام المبيدات الكيمائية خاصة مبيدات الحشرات، والتي أفرد لها موضوعاً خاصاً في هذا الفصل. هذا على الرغم من الدور الذي تقوم به المبيدات الكيميائية في زيادة الانتاج الزراعي والمحافظة على النباتات والمحاصيل، إلا أن تأثيرها السيء على البيئة، سواء في التربة أو في الهواء والماء فاق الحدود المسموح بها.

وقد بدأت مشكلة تلويث المبيدات الكيميائية للبيئة عندما استخدمت مركبات الكلور العضوية طويلة الأجل منذ عام ١٩٤٠م، وذلك لعدم تحللها وثباتها الكيميائي في الهواء والماء والتربة، وأيضاً لانتقالها عبر السلسلة الغذائية بين النباتات والحيوانات والإنسان لسهولة ذوبانها في الدهون، وسوف نعرض فيما يلي للأنواع المختلفة من المبيدات الكيميائية وتأثيرها على البيئة، وذلك بعد عرض مبسط للآفات الحشرية وأضرارها، ونختم هذا الفصل ببيان أسلوب أو مفهوم المكافحة المتكاملة كطريقة للحد من التلوث الناشيء من المبيدات الكيميائية وترشيد استعمالها.

٥ ـــ ٢ الحشرات الزراعية ومخاطرها.

تمتاز الحشرات بانتشارها وسرعة تكيفها مع الظروف المختلفة إذا ماوجدت الغذاء الملائم، كما وأن صغر حجمها وقدرتها على الطيران يجعل وسائل مكافحتها أمراً ليس سهلاً. ويساعدها كذلك هيكلها الخارجي Cuticle على مقاومة الظروف البيئية القاسية، إذ يحتفظ هذا الهيكل الفريد بمحتويات الجسم ويقيه من العوامل الخارجية من صدمات أو تغييرات في نوعية المواد المحيطة. ويزيد من خطورة الحشرات بصفة عامة سهولة تكاثرها وتناسلها وكثرة انتاجيتها إن صدق التعبير.

ولقد عاشت الحشرات على وجه الأرض منذ سنوات طوال، ويزيد ما يعرفه الإنسان منها عن عشرة ملايين نوع. وبلاشك فليست كلها ضارة، بل إن منها مايستلزم لوجوده قيام عمليات هامة واتزان في البيئة كالحشرة المتطفلة المعروفة

باسم افيلينيوس مالي Aphelinus mali، والتي تقضى على حشرات التفاح الضارة. كما وأن الإنسان يتناول العسل الشهي من النحل وتوفر دودة القز الحرير الكاسي، وأيضاً يقوم النحل بنقل حبوب اللقاح بين الأزهار، ولحشرة ذيل الربيع Spring tail دور في تحلل البقايا العضوية، وبالمقابل فإن هناك حشرات ضارة تفتك بأوراق وأزهار وسيقان النبات، وتمتص عصارتها وتتلف المحاصيل الزراعية سواء في الحقل أو في المخازن. وتسمى بذلك بالحشرات أو الآفات الزراعية. ولبعض الحشرات تأثير بالغ على الصحة لما تنقله من جراثيم وميكروبات الأمراض. ويعرف البعض الآخر بالحشرات الحيوانية نظراً لملازمتها للحيوانات. كما وتوجد أيضاً حشرات — مستأنسة — تعيش في المنازل والبيوت.

وفي الواقع، فإن الحشرات أصناف عديدة ومتنوعة، ويهمنا هنا ذلك النوع الذي يغزو الحقول الزراعية ويفسد المحاصيل والنباتات نفسها، ولهذه الآفات الحشرية الزراعية أيضاً أنواع كثيرة. ومن ضمن أنواع الحشرات الضارة التي تصيب الفواكه مايلي :

الورد الزغبي Tropionata aqualida ويصيب الموالح.
منّ الخوخ الأخضر Myzus presicae ويصيب الموالح والرمان.
دودة الخضار Spodoptera littoralis وتصيب التين.
آفة ورق العنب Hippotion Celerio وتصيب العنب.
الحشرات القشرية Partoforia blanchardi وتصيب النخيل.

وتتغذى هذه الحشرات على المحاصيل الزراعية بقضم الأوراق والشتلات والأزهار وامتصاص العصارة النباتية وتسبب أيضاً نقل الأمراض للنبات من فطر وبكتريا وفيروسات، مما يسبب خسائر كبيرة في المحاصيل الزراعية لتلف جزء كبير منها.

ومع استمرار المكافحة الكيميائية للآفات الحشرية تولد جيل منها لديه مقاومة طبيعية لهذه المواد الكيماوية المستخدمة. ولقد ازداد عدد هذه الحشرات كثيراً مع تزايد أنواع المبيدات الحشرية كما هو موضح في الشكل ٥ — ١. إذ كان عدد

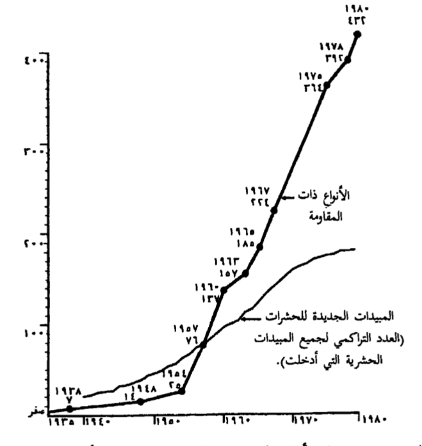
الآفات المقاومة للمبيدات ١٣٧ آفة في عام ١٩٦٠م، وارتفع إلى ٣٦٤ آفة في عام ١٩٧٥م، ثم إلى ٤٣٢ آفة في عام ١٩٨٠م. ويرجع العودات وباصهي في كتابهما التلوث وحماية البيئة بأن أسباب هذه المقاومة هي ما يلي :

١ ــ انخفاض معدل نفاذ المبيد إلى جسم الحشرة.

إما لزيادة سمك أو تركيب الجدار الخارجي، أو زيادة الاشعار الكثيفة المحيطة بالجسم، وذلك بحدوث طفرة إيجاد جيل من الحشرات مهيأ لمثل هذه الظروف القاسية.

٢ ــ سرعة أفراز المبيد من الحشرة.

بعض الحشرات أصبحت قادرة على الاحتفاظ المؤقت والضئيل للمبيد مع سرعة قذفه للخارج دونما أن يحدث لها أي آثار داخلية.



شكل ٥ ــ ١ : زيادة أنواع المبيدات الحشرية وتضاعف أعداد الحشرات ذات المقاومة.

٣ ـــ تخزين المبيد في أنسجة غير حساسة.

تتمكن بعض الحشرات من احتجاز كمية من المبيدات الكيمائية في أجزاء غير حساسة من جسمها كالأنسجة الدهنية.

٤ ـــ تفكيك جزئيات المادة السامة أو إزالة مفعولها.

مع استمرار تعرض الجيل السابق من الحشرات لأنواع معينة من المبيدات الكيميائية تنشأ في الأجيال اللاحقة مقدرة تحليل وتفكيك هذه المواد السامة إلى مواد أقل سمية بما تفرزه أجسامها من مواد ضرورية لذلك.

٥ ـــ ٣ المبيدات الكيميائية كوسيلة لحماية الإنتاج الزراعي.

اضطر الإنسان لاستعمال المبيدات الكيميائية للتخلص من الآفات والحشرات التي تفسد المحاصيل الزراعية وتنقل إليها الأمراض، وقد بدأ الاستعمال المكثف لهذه المبيدات منذ عام ١٩٤٠م، فاستعمل مبيد د. د. ت. Dichloro Diphenyl Trichloroethane والذي كان له دور فعال في الحد من الآفات والحشرات النباتية إلى جانب بعض مركبات الكلور العضوي الأخرى والمبيدات الفوسفورية العضوية. وأشهر أنواع المبيدات الكيميائية هي :

ـــ المبيدات الحشرية Insecticides، والمبيدات العشبية Herbicides والمبيدات الفطرية Fungicides.

ويبين الجدول ٥ ـــ ١ الإنتاج الكلي لهذه المبيدات.

جدول ٥ ـــ ١ : إنتاج المبيدات العضوية (مليون كيلو جرام)

أنواع المبيدات	١٩٧٠	١٩٧٥	١٩٧٩
المبيدات العشبية	١٨٤	٣٥٨	٢٩٩
المبيدات الحشرية	٢٢٣	٣٠٠	٢٨٠
المبيدات الفطرية	٦٤	٧٠	٧٠
الإنتاج الكلي	٤٧١	٧٢٨	٦٤٩

ولقد استخدمت المركبات غير العضوية باديء ذي بدء مثل زرنيخ الرصاص Lead arsenate، وزرنيخ الكالسيوم Calcium arsenate، ثم كثر استخدام المركبات العضوية بعد ذلك. ويمكن تصنيف المبيدات الحشرية حسب تأثيرها. فهناك مبيدات حشرية سامة لمعدة الحشرات مثل : ال د. د. ت. والهبتاكلور Heptachlor، ثلاثي الكلوروفون Trichlorofon، جثيون Guthion، كاربيل Carbayl، كلورودين Chlorodane، ديلدرين Dieldrin. ومبيدات التلامس الحشرية والتي تنتقل سمومها عند تلامسها مع الحشرات مثل : ال د. د. ت، كاربيل Carbayl، ماليثون Malathion، روتينون Rotenon، باراثيون Parthion، باريثرينز Pyrethrins، سلفات النيكوتين Nicotine sulfate إضافة إلى المبيدات الحشرية الضبابية Fumigants، والتي تنقسم إلى :

— مبيدات سائلة مثل ثاني كبريتيد الكربون، ورابع كلوريد الكربون.

— مبيدات غازية مثل برومور الميثيل، وأكسيد الايثيلين.

— مبيدات صلبة مثل مبيد الفوستوكسين، وهو عبارة عن فوسفيد الألومنيوم الصلب والذي يتفاعل مع الماء لينتج غاز الفوسفين.

كما وتنقسم المبيدات الحشرية بشكل عام حسب تركيبها الكيمائي إلى :

١ — مركبات غير عضوية.

وقد سبق الاشارة إلى أنها أول أنواع المبيدات الحشرية استخداماً، وأنها تشمل مركبات الزرنيخ. ويفضل من هذه المبيدات المواد غير القابلة للذوبان في الماء حتى لاتؤثر على النبات.

٢ — مبيدات نباتية الأصل.

كمبيد الروتينون والذي يستخلص من نبات الدرس Derris، ومبيد النيكوتين ويستخرج من نبات الدخان (التبغ).

٣ — مركبات عضوية مصنعة.

وتشمل المواد الهيدروكربونية الكلورية مثل ال. د. د. ت، والالدرين، والكلوردان، كذلك مركبات الفوسفور العضوية مثل الديازينون، والباراثيون.

٤ ــ **مبيدات خاصة.**

وتكون موجهة ضد آفة معينة كمبيدات الاكاروس، مثل الكلوروبنزليت، والنيوثران، ومبيدات القوارض، مثل ثالث أكسيد الزرنيخ والفوسفور الأصفر.

والمبيدات الفطرية تأتي بعد المبيدات العشبية من حيث تأثيرها في انتاجية المحاصيل الزراعية. إن كلمة مبيد فطري تعني المادة الكيميائية التي لها القدرة على حد الضرر الذي يحدثه الفطر للنباتات أو المنتجات المخزنة. وتنقسم المبيدات الفطرية حسب التأثير إلى ثلاثة أنواع هي :

١ ــ المبيدات الموقفة للنمو Fungistatic.

٢ ــ المبيدات الفطرية القاتلة Fungitoxic.

٣ ــ المبيدات الفطرية الموقفة للتكاثر والنسل Genestatic.

وقد تستخدم المبيدات الفطرية لوقاية النباتات قبل الإصابة أو لعلاج النباتات بعد الإصابة لإبادة الفطر الضار Evadicant fungicide. ويمكن حصر الدور الذي يقوم به المبيد الفطري للخلايا الفطرية بما يلي :

١ ــ اتحاد المبيد مع المركبات الحيوية داخل الخلية الفطرية : فاتحاده مثلاً مع الحوامض الأمينية يؤثر في إنتاج الفطر للبروتين، واتحاده مع القواعد النيتروجينية يؤثر في عملية ميتابوليزم الحوامض النووية داخل الخلية.

٢ ــ إن تشابه المبيد مع بعض المركبات الحيوية يؤثر في مجمل العمليات الحيوية للخلية الفطرية.

٣ ــ يتفاعل المبيد الفطري مع الأنزيمات الحيوية ويسبب تثبيطها.

٤ ــ يؤثر المبيد الفطري على عمليات الأكسدة والاختزال، ومقدار الطاقة المنتجة في الخلية الفطرية. وأهم أنواع المبيدات الفطرية هي : الكبريت، ومركبات الكبريت العضوية، ومركبات النحاس، والمركبات العضوية الكبريتية النيتروجينية، والكينونات Quinones، والأناليدات Anilides، ومشتقات النتروبنزين، ومركبات الكواندين Guanidines، ومركبات أميدازولين Imidasolines، ومركبات بنزويميدازول Bensimidazole والمضادات الحيوية المختلفة.

أما المبيدات العشبية فقد كثر استخدامها عن ذي قبل خلال العشر سنوات الأخيرة. فقد وصلت نسبة إنتاج المبيدات العشبية في عام ١٩٨٢م حوالي ٦٣٪، بينما كانت نسبة إنتاج المبيدات الحشرية والفطرية ٢٨٪ و ٩٪ على التوالي. وبذا فقد زاد استخدام المبيدات العشبية بنحو ١٧٥٪ عن عام ١٩٦٦م. وتحتل مزارع الحبوب المرتبة الأولى كمستهلك رئيسي للمبيدات العشبية تليها حقول القطن. وتبرز خطورة الأعشاب الضارة لمنافستها للنبات في عناصر الغذاء الضرورية والماء والهواء إلى جانب أنها تسبب في إصابة المحاصيل الزراعية بالأمراض، وتجلب لها الحشرات المختلفة. ومن الطرق الشائعة في مقاومة الأعشاب الضارة إلى جانب استخدام 'لمبيدات الكيماوية العشبية هي استخدام الطرق الميكانيكية من حراثة وتعزيق بالماء وحرق، أو تكثيف الزراعة المفيدة أو استخدام الطرق الحيوية من فطريات وحشرات غير ضارة لها القدرة على مكافحة الأعشاب الضارة.

وهناك مجموعتان من المبيدات العشبية هي المبيدات الإنتقائية (الخاصة) أو غير الإنتقائية (العامة). فالمبيدات العشبية الإنتقائية تستخدم لمكافحة أنواع معينة من الأعشاب، كمبيد ثنائي كلوروفينكسي حامض الخل الخاص بالأعشاب الضارة عريضة الأوراق، ومبيد اترازين Atrazine والمستخدم للأعشاب الضارة في حقول الذرة وقصب السكر. ومن المبيدات العشبية غير الإنتقائية (العامة) ثنائي ثاتروكريزول وباراكوات Paraquat، ودايكوت Diquat.

٥ ـــ ٤ طرق استخدام المبيدات.

يتم استعمال المبيدات الكيميائية بإحدى الطرق التالية:

١ ـــ طريقة الرش Spraying.

وهي أكثر الطرق استعمالاً، ويكون المبيد في هذه الحالة مذاباً في الماء مثل : مبيد السيفين، والدبتركس، وفي حالة المبيدات غير القابلة للذوبان في الماء تذاب في الكيروسين أو في مستحلبات المواد الغروية.

٢ ـــ طريقة التعفير Dusting.

يسحق المبيد الكيماوي على شكل حبيبات صغيرة جداً، وقد يضاف إليه مساحيق من مواد غير فعالة لحمله وضمان انتشاره وتوزيعه وتغطية مساحة كبيرة.

ومن أشهر المواد الحاملة المستخدمة، الكبريت وأكاسيد السيليكون وكبريتات الكالسيوم، وغيرها.

٣ ـــ طريقة التبخير Fumigation.

وتستخدم هذه الطريقة للمبيدات الغازية والتي تتبخر بسرعة عند درجات الحرارة العادية، وذلك مثل النفثالين وغاز حمض الايدروسيانيك وثاني كبريتيد الكربون.

٤ ـــ الايروسولات Aerosols.

وهي الجزيئات الدقيقة المعلقة في الهواء من المبيدات الصلبة أو السائلة، ويتراوح حجمها بين ٥ر٠ إلى ٥٠ ميكرون، وتخرج جزئيات المبيد المذاب في الزيت البترولي المضغوط عند رفع الضغط عنه فجأة.

٥ ـــ الدخان Smokes.

يحرق المبيد الكيماوي بعد خلطه مع مواد بطيئة الاحتراق مثل الآزوبنزين ليتصاعد دخان الاحتراق محتوياً على المبيد الذي يسهل انتشاره بعد ذلك ليصل إلى الحشرات والآفات المستهدفة.

٥ ـــ ٥ الأضرار الناتجة عن المبيدات.

نظراً للتأثير السيء لهذه المبيدات على البيئة والإنسان وسائر الكائنات الحية فقد حذرت منظمات حماية البيئة العالمية من استعمال عدد من هذه المبيدات يتصدرها مبيد ال. د. د. ت D. D. T.، والدايلدرن Dieldrin، والاندرين Endrin، ومركبات الزرنيخ غير العضوية، وغيرها. ولايزال كثير من هذه المبيدات الكيميائية الممنوعة يستخدم بالرغم من وضوح الدلائل على سميتها وأضرارها.

ولعل من أهم أخطار هذه المبيدات الكيميائية قضاؤها على الحشرات النافعة من طفيليات ومفترسات Carnivores، ونحل العسل، وكثير من الأحياء البرية كالطيور، وحتى الأسماك، وكذلك بعض الحيوانات المستأنسة كالدواجن ثم امتداد تأثيرها على المحاصيل الزراعية، وبالتالي انتقال آثارها الضارة إلى الإنسان بطريق غير مباشر أو مباشر نظراً لوجود عدد كبير من هذه الملوثات في الهواء والماء.

كما وأن للمبيدات أيضاً دوراً معاكساً تقوم به، إذ أنها تساعد على إيجاد سلالات من الحشرات والآفات ذات مناعة ومقاومة عالية، فيعقب في الغالب الانخفاض المؤقت لهذه الآفات ارتفاع وزيادة في أعدادها نتيجة لتكيف الحشرات مع الجو السائد وقلة وجود الحشرات الأخرى النافعة المفترسة، والتي تسهم في القضاء على الحشرات الضارة.

وللمبيدات الكيميائية آثار تراكمية نظراً لثباتها الكيميائي وصعوبة تحللها. وهذا ماساعدها على الانتشار في المناطق المختلفة والبعيدة عن مواضع الاستخدام. فقد وجدت آثارها في كثير من الكائنات الحية الموجودة في القطبين، كطائر البطريق، وبعض أنواع السباع البحرية، بل ويحمل الإنسان وسائر الحيوانات كميات مختزنة غير قليلة من هذه المبيدات الضارة في الأنسجة الدهنية. وينعكس تراكم المبيدات في الطيور بنقص في تمثيل الكالسيوم مما يجعلها تنتج بيضاً هشاً غير متماسك. ولقد وصل تركيز مبيد ال د. د. ث. D.D.T. في دهن أجسام المواطنين الأمريكيين قبل المنع العالمي لاستعماله إلى النحو التالي:

عمال رش المبيد	١٤٠ جزء في المليون وزناً
الإنسان العادي	٣ ــ ٧ جزء في المليون وزناً
سكان الاسكيمو	٨ر. جزء في المليون وزناً.

إن بعض المبيدات الكيميائية وخاصة مركبات الكلور العضوي والفينوكسي تظل ثابتة في التربة ومصدراً مستمراً لهذه المبيدات، إذ تنتشر منها عند تدفق المياه إلى المناطق المختلفة، فيعم تأثيرها في كل حين. ويبين الجدول ٥ ــ ٢ عمر بعض المبيدات العضوية في التربة. وللمبيدات الكيميائية تأثير سيء على طعم ورائحة المياه، إذ يكفي تركيز ٥٠٠٠ر. ملليجرام/لتر لتغيير طعم ورائحة الماء. كما وأن للمبيدات أيضاً تأثير على حياة الكائنات الدقيقة وسائر الأحياء التي تعيش في الماء.

جدول ٥ ــ ٢ : طول عمر بعض المبيدات الكلورينية العضوية في التربة(*)

المبيد	معدل الجرعة السنوية (كجم/هكتار)	الوقت اللازم لاختفاء ٥٠٪من الجرعة (اسبوع)	الوقت اللازم لاختفاء ٩٥٪من الجرعة (اسبوع)
الدرين	١ر١ — ٤ر٣	٣ر٠	٣
كلورودين	١ر١ — ٢ر٢	٠ر١	٤
د. د. ت.	١ر١ — ٨ر٢	٨ر٢	١٠
ديالدرين	١ر١ — ٤ر٣	٥ر٢	٨
أندرين	١ر١ — ٤ر٣	٢ر٢	٧
هيبتاكلورو	١ر١ — ٤ر٣	٨ر٠	٥ر٣
لندين	٢ر١ — ٨ر٢	٢ر١	٥ر٦

* خالد العادل، مولود عبد، المبيدات الكيمائية في وقاية النبات، جامعة بغداد، ١٩٧٩م.

ويكمن تأثير المبيدات الكيميائيه خاصة المبيدات العشبية على النباتات بسقوط أوراقها أو إعاقة عملية البناء الضوئي، ويتراكم البعض داخل النبات أو خارجه لينتقل إلى الإنسان مباشرة أو للحيوانات ثم للإنسان بطريق غير مباشر، وتدل كثير من الدراسات إلى أن للمبيدات الكيميائية تأثيراً بالغاً على الجهاز العصبي للإنسان خاصة المركبات الفوسفورية التي تسبب حدوث شلل عضوي دائم، كما وتساعد بعض المبيدات، كالمبيد العشبي أمينو ــ ترايازول Aminotriazole للإصابة بأمراض السرطان. هذا إلى جانب التأثير السمي لكافة المبيدات.

وتتأثر بالمثل الطيور والأسماك بمخلفات المبيدات الكيميائية مما يضطرها لمغادرة المناطق الملوثة، هذا إذا سلمت من التأثير القاتل، لتنقل المواد الكيميائية السامة إلى الأجواء البعيدة. ويمكن حصر أسباب مخاطر المبيدات الكيميائية بما يلي :

١ ــ تسرب المبيدات إلى مختلف قطاعات البيئة بما في ذلك سلسلة الأغذية.

٢ ــ الأخطار المهنية المقترنة بالمواد الكيميائية ذات الفعالية البيولوجية العالية.
٣ ــ التعرض غير المقصود نتيجة لعمليات الرش التي تجري بلا عناية.
٤ ــ نقل وتخزين المبيدات واتلافها اللاواعي.
٥ ــ الآثار البيئية الجانبية بما في ذلك نمو المقاومة والمناعة لدى الحشرات.

٥ ــ ٦ المكافحة المتكاملة للآفات الزراعية.

تستهلك الحشرات الزراعية ما يعادل ١٤٪ من الإنتاج الزراعي العالمي إلى جانب نشرها لكثير من الأمراض، مثل الملاريا والحمى الصفراء والتيفوس Typhus وللبقاء على صحة البشر وسلامة المحاصيل الزراعية يجب القضاء على هذه الآفات الحشرية واستخدام سبل المكافحة الممكنة. والجدير بالذكر أن كثيراً من هذه الحشرات تتأقلم بمرور الزمن مع وسائل المكافحة المستخدمة بنشوء جيل منها لديه مناعة وتحصين كافيين، كما ذكر سابقاً، لذا فمن اللازم استخدام وسائل أخرى مختلفة في كل فترة زمنية، وهذا ما يعرف بمفهوم المكافحة المتكاملة للآفات Integrated Pest Management.

إن تقليل كميات المبيدات المستخدمة والاعتماد على فكرة المكافحة الموجهة أمر مطلوب بلاشك، وذلك أنه لاتستخدم هذه المبيدات إلا في الضرورة القصوى عند الاحتياج اللازم لها. إن الدعوة لاستحداث أنواع جديدة من المواد الكيميائية الزراعية الأقل سمية، والأسرع تحللاً أمر هام في الوقت الحاضر بعد أن لوثت هذه المبيدات الحالية أجزاء كبيرة من عالمنا، وربما سيستمر تأثير هذه المبيدات لفترة طويلة لاحقة نظراً لثبات هذه الملوثات الكيميائية وتراكمها في البيئة وفي الكائنات الحية. ومن الخواص الهامة للمبيدات المطلوبة أن تكون على درجة عالية من الفعالية والانتقائية، أي أنها تشمل بسميتها الفعالة الحشرات المقصودة الضارة دون غيرها من حشرات نافعة ونباتات وكائنات حية.

إن أفضل طريقة على الاطلاق للتخلص من الحشرات والآفات الضارة هي محاولة تعزيز مقاومة البيئة لهذه الحشرات باستخدام مواد موجودة في الطبيعة ذات فعالية جيدة للقضاء على الآفات المختلفة. ذلك أن سموم المبيدات الحالية

المتراكمة لها ضرر شامل للحشرات النافعة والضارة، مما يؤدي إلى اختلال توازن البيئة، بينما يرجى من المبيدات المتوقعة أن تعزز المقاومة البيئية وتعيد الاتزان الطبيعي. ولقد تمكن العلماء حالياً على المستوى المعملي من إيجاد مواد مستخلصة من حبوب الأشجار لها تأثيرات سلبية على العمليات الهرمونيه في أجسام الحشرات الضارة لتعطل من نموها وتكاثرها. ومثال ذلك، المواد التي استخلصت من حبوب شجرة النيم لمكافحة الجراد ويرقاته الدودية. هذا إلى جانب تربية بعض الحشرات المتطفلة غير الضارة لاستخدامها سلاحاً موجهاً للحشرات الضارة، وذلك مثل ذبابة النمس التي تعيش متطفلة على أنواع كثيرة من الحشرات الضارة، كما وقد دخلت الفيروسات في ترسانة المكافحة البيولوجية، واستخدمت أيضاً أنواع كثيرة من الأحياء الدقيقة كالبيكتريا والفطريات.

ويعرف هذا النوع من المكافحة بالمقاومة البيولوجية (الحيوية)، وهو بلا شك أسلم وآمن للبيئة من طرق المقاومة الكيماوية، ويفضل استعماله جنباً إلى جنب مع طرق المكافحة الكيماوية. إن التناسق بين طرق المكافحة الكيماوية الموجهة، وبين طرق المكافحة البيولوجية، وتحديد كمية وتركيز وأنواع المبيدات اللازمة وتغييرها بين آونة وأخرى في حالة ظهور مناعة لدى الحشرات والآفات الضارة واختيار أنواع من المبيدات لها سمية مستهدفة للحشرات الضارة، هو ما سمى سابقاً بمفهوم المكافحة المتكاملة، وهو مانحتاجه اليوم نحو بيئة نظيفة سليمة خالية من الأمراض والآفات. ويمكن تصنيف طرق مكافحة الحشرات والآفات كالتالي :

١ ـــ المكافحة الطبيعية.

وهي مجموع تلك الظروف الطبيعية التي حباها الله سبحانه وتعالى للبيئة للمحافظة على حالة النقاء وإزالة الأضرار، وتشمل الأحوال الجوية المختلفة من رياح وحرارة وغيرها، وكذلك تسليط بعض الكائنات على بعض ليبقى النافع منها، غير أنه بتدخل الإنسان باستنزافه لخيرات الطبيعة غير المتزن، حصل بعض الاختلال في عدد ونوع الآفات والحشرات الضارة، وباتت الظروف الطبيعية لوحدها غير قادرة على تحمل عبء المقاومة الذاتية.

٢ ــ المكافحة البشرية.

وتشمل محاولات البشر لإعادة الاتزان الطبيعي، أما باستخدام مواد كيماوية، وهي ما يسمى بالمقاومة الكيميائية، ويدخل في ذلك استخدام المبيدات بأنواعها للقضاء على الحشرات والآفات التي استفحل أمرها عندما سرع الإنسان إنتاج الأرض وخيراتها. كما وأن هذه المكافحة البشرية قد تكون بالطرق البيولوجية لخفض ضرر نوع معين من الحشرات والآفات الزراعية.

وتكون المقاومة البشرية أيضاً في أبسط صورها في حالة المكافحة الميكانيكية، إذ تجمع الآفات باليد للتخلص منها بالحرق مثلاً، كما تكون أيضاً بوضع الحواجز والأسلاك أو العوائق الطبيعية الأخرى التي تحول دون انتشار الحشرات والآفات الزراعية. كما ويمكن أن تستخدم الحرارة أو التبريد لمكافحة الآفات خاصة في مرحلة التخزين، ويستعمل حالياً الإشعاع الأيوني في إحداث العقم كوسيلة للمكافحة.

ويمكن تلخيص طرق مكافحة الآفات التي تقوم بها مراكز الأبحاث العالمية بما يلي :

١ ــ استخدام المركبات المانعة للتغذية.

وهي مركبات تمنع الحشرات من التغذية لتموت جوعاً، وذلك بتأثيرها على أعصاب التذوق الموجودة حول الفم، ومن أمثلتها : اليولان نيو **Eulan new** المستعملة ضد حشرات الملابس. ومركب هيدروكسيد ثلاثي فينل الخارصين **Triphenyltin hydroxide** ضد دودة ورق القطن، والحبوب المخزونة.

٢ ــ استعمال الهرمونات الحشرية.

يحضر هرمون الشباب **Juvenile** ومشابهاته لإفشال إتمام دورة الحياة للحشرات، وقد وجد هذا الهرمون في زلال البيض وقشرة البن ومشيمة الإنسان، وفي غدة التيموس، والغدة النخامية في العجول الصغيرة.

٣ ــ استعمال الإشعاع.

تربى ذكور الحشرات الضارة وتعقم معملياً باستخدام الكوبالت ٦٠ المشع، ثم

تنشر هذه الذكور في الطبيعة لتنتج من الإناث بيضاً غير مخصب ولا يفقس. وقد نجحت هذه الطريقة في تعقيم ذبابة الدودة البريمية Screw Worm وفي تعقيم ذبابة البطيخ.

٤ ــ استخدام المعقمات الكيميائية.

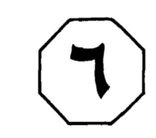
استحدثت بعض المعقمات الكيماوية Chemosterilants لنفس غرض استخدام الكوبالت ٦٠ المشع، ومن أمثلتها : معقمات الازيريدين Aziridine ورباعي امين Tetramine، والتيبا Tepa، والتي يمكن أن تستخدم عن طريق الطعام أو بخلطها مع الجاذبات الجنسية.

٥ ــ إيجاد جيل من الحشرات ذات نقص في التركيب.

ويتم ذلك بتربية حشرات في المعامل لها طفرات معينة غير ضارة، ولكن تكفي لنقل الصفات الناقصة إلى الجيل الأول الناتج. ومن أمثلة هذه الصفات عدم القدرة على البيات، وعدم القدرة على الطيران، أو نقص في تركيب أجزاء فم اليرقات بحيث لا تستطيع التغذية، وبلاشك فإن مقاومة هذا المعاق من الحشرات أمر سهل، بل أن بعضها يتلاشى بذاته.

٦ ــ استخدام الجاذبات الجنسية.

تمكن خبراء المبيدات من فصل المركبات التي تفرزها الغدد الجانبية من إناث الحشرات على أجزائها الخارجية لجذب الذكر من مسافات بعيدة قد تصل إلى ٣ كيلومترات. وتحضر هذه المركبات حالياً صناعياً لتوضع في مصائد خاصة أو تخلط مع مواد لاصقة لجذب ذكور الحشرات والتخلص منها. ومن أمثلة المواد الجاذبة الجنسية مادة الجيبليور Gyplure، والتي تجذب ذكور فراشة الفم Gypsum rosa mouth، ومادة الميثل إنجينول Methylengenol، والتي تجذب ذكور ذبابة الفاكهة الشرقية Dacus doysalis



الفصل السادس
الحروب وأثرها على التلوث

٦ ـ ١ مقدمـة.

لقد تم في الفصول السابقة استعراض للعوامل الطبيعية والصناعية التي تؤدي إلى تلوث البيئة سواءً الهواء أو الماء. والآن وفي هذا الفصل سنستعرض اثار الحروب على تلوث البيئة.

من المعروف أن إستخدام المتفجرات التقليدية في الحروب تزيد من تلوث البيئة سواءً زيادة الأتربة أو الدخان أو الغازات الناتجة من الحرائق التي تسببها تلك المتفجرات. هذا بالإضافة إلى بعض الملوثات الكيميائية التي تنتج عن هذه المتفجرات.



شكل ٦ ـ ١ : التلوث الناشيء عن الحرائق الناتجة عن المتفجرات

إلّا أن الحروب التي تستخدم فيها أسلحة غير تقليدية مثل الأسلحة الجرثوميه والنووية والكيميائية بلاشك سوف تؤدي إلى تلوث البيئة بشكل يؤثر على الصحة بصورة ملحوظة. إن الحرب الجرثومية تقتصر في تأثيرها على ما تنشر من سموم الكائنات الحية أو الكائنات الحية الدقيقة نفسها (الجراثيم) المسببة للأمراض. لذلك فإن احتمال حدوث حرب جرثومية أمر مستبعد لما في ذلك من آثار ضارة قد تسبب في انتشار المرض على نطاق واسع في العالم بالإضافة إلى ذلك فإن هذا النوع من التلوث ليس مجال بحثنا في هذا الكتاب.

أماً بالنسبة للحرب النووية فإنه على الرغم من أن هناك من يعتقد بأنه أمر بعيد الاحتمال، إلّا أن أحداً لايستطيع أن يضمن الظروف، وقد تحدث مثل هذه الحرب على نطاق واسع مما يؤدي إلى كارثة عالمية. أماً حدوثها على نطاق ضيق فإنه بلاشك سوف يسبب تدميراً هائلاً وتلوثاً للبيئة. ويشمل التلوث ماتثيره الإنفجارات النووية من غبار وأتربة وكذلك ماتخلفه من مواد مشعة والتي سنتناولها بشيء من التفصيل في الفصل القادم.

أمّا بالنسبة للأسلحة الكيميائية فإنه نظراً لسهولة تصنيعها على عكس الأسلحة النووية، ونظراً لكون بعض الأسلحة الكيميائية وبالذات غازات الأعصاب عديمة اللون والرائحة فإنها تغرى بعض الدول بإستخدامها مع المتفجرات التقليدية ظناً منهم بأن الخصم لن يعرف ذلك وهذا الظن أقرب إلى الحقيقة عندما يكون ذلك الخصم يجهل كنه هذه الأسلحة مما يضاعف عدد القتلى في المعارك. كما أن الأسلحة الكيميائية تؤدي إلى تلوث البيئة المحيطة بشكل عام سواء الهواء أو الماء لما تنفثه من كيميائيات سامة. إلّا أنه يقل تركيز هذا التلوث كلما إبتعدنا عن مركز التفجير، كما أن العوامل الجوية تعمل على تفكيك بعض هذه الكيميائيات مع الزمن مما يقلل ضررها نسبياً.

وعلى الرغم من الإتفاقيات الدولية التي أبرمت لتحريم استعمال هذه الأسلحة مثل إتفاقية جنيف عام ١٩٢٥ التي تنص على منع استعمال الأسلحة الجرثومية والكيميائية كما تؤكد ضرورة تدمير المخزون العالمي الموجود من هذه الأسلحة،

على الرغم من ذلك فإننا نسمع عن استخدام الأسلحة الكيميائية بين الوقت والآخر في مناطق مختلفة من العالم وحتى في مناطق مجاورة لنا. لذلك فلابد من إدراج الأسلحة الكيميائية ضمن ملوثات البيئة.

٦ ــ٢ تعريف الأسلحة الكيميائية.

الأسلحة الكيميائية Chemical Weapons هي عبارة عن استخدام المواد الكيميائية السامة في الحروب لغرض قتل أو تعطيل الإنسان أو الحيوان. ويتم ذلك عن طريق دخولها الجسم سواء باستنشاقها أو تناولها عن طريق الفم أو ملامستها للعيون أو الأغشية المخاطية.

وهذه المواد الكيميائية قد تكون غازية أو سائلة سريعة التبخر ونادراً ماتكون صلبة، تطلق في الفضاء أو تلقى على الأرض سواء بالرش مباشرة بواسطة الطائرات على ارتفاع منخفض أو وضعها في ذخائر Munition على شكل قنابل أو قذائف بحيث توضع الكيميائيات السامة في أوعية من الرصاص أو الخزف حتى لاتتفاعل مع مواد الانفجار أو مع جدار القذيفة وعند وصول القذيفة إلى الهدف وانفجارها تتصاعد الكيميائيات السامة على شكل أبخرة مسببة الموت الجماعي.

وتتميز الكيميائيات السامة بروائح مميزة ولذلك يمكن الابتعاد عنها أو استعمال الأقنعة والملابس الواقية مما يقلل الأضرار الناتجة عنها. إلّا أن هناك كيميائيات أكتشفت إبان نهاية الحرب العالمية الثانية ولم تكن جاهزة للاستعمال إلّا بعد نهاية الحرب. تلك الكيميائيات تسمى بغازات الأعصاب التي تسبب شللاً في الأعصاب وأعراضاً أخرى مما يؤدي إلى الموت، تتميز هذه الغازات عن غيرها بالسمية العالية وبأنها عديمة اللون والرائحة تقريباً، وبذلك يصعب اكتشافها على عكس الأسلحة الكيميائية الأخرى. كما لايفوتنا التنويه على سميات أخرى لها قدرة عالية في السمية مثل سم بتولينيوم الذي ينتجه فطر بتولينيوم حيث ينمو هذا الفطر على اللحوم والأسماك المعلبة الفاسدة في معزل عن الأكسجين مما ينتج مادة سامة تعتبر أكثر ألف مرة من سمية غازات الأعصاب، إلّا أن هذه السميات

تصنف على أنها أسلحة جرثومية نظراً لأنها ناتجة عن الجراثيم.

لقد استخدمت الأسلحة الكيميائية منذ مئات السنين لقتل الجنود في المعارك، ولكن استخدامها بشكل كبير في المعركة بدأ في الحرب العالمية الأولى في إبريل عام ١٩١٥م عندما نشر الألمان سحاباً من غاز الكلور السام ضد الحلفاء في فرنسا. وبعد ذلك بفترة قصيرة بدأ كل من الطرفين، الحلفاء والألمان، باستخدام العديد من الأسلحة الكيميائية المختلفة خصوصاً في الحربين العالميتين الأولى والثانية. إلّا أن غازات الأعصاب وهي أقوى الأسلحة الكيميائية مفعولاً لم تكن جاهزة للاستعمال في ذلك الوقت.

وعلى الرغم من اتفاقية جنيف عام ١٩٢٥م المحرمة للأسلحة الكيميائية واتفاقيات أخرى تلتها إلّا أن الأحداث تشير إلى خرق هذه الاتفاقيات بشكل كبير في الحربين العالميتين الأولى والثانية وفي حروب أخرى جانبية مثل الحرب الكورية وغيرها. كما أن دولاً عديدة تمتلك هذه الأسلحة برغم الإتفاقيات الدولية التي تنص على التخلص من هذه الأسلحة وعدم الاستمرار في برنامج تصنيعها وتطويرها. وتشمل هذه الدول كلاً من الولايات المتحدة، الإتحاد السوفيتي، فرنسا، إسرائيل، أثيوبيا، تايلند، بورما، الصين، تيوان، شمال كوريا وفيتنام، كما أنه طبقاً لمصادر غربية فإن هناك دولاً عربية يعتقد بأنها ربما تمتلك أسلحة كيميائية وهذه الدول هي كل من مصر، العراق، سوريا وليبيا. ومما لاشك فيه بأن الولايات المتحدة والإتحاد السوفيتي هما الرائدتان في هذا المجال كالعادة. ويقدر ما تملكه الولايات المتحدة من الأسلحة الكيميائية بثلاثين ألف إلى أربعين ألف طن، منها عشرون ألف طن غازات أعصاب مصنعة ما بين عام ١٩٥٣م إلى عام ١٩٦٧م وعشرة إلى عشرين ألف طن من غازات الخردل إمّا موجودة في ذخيرة munition أو مخزونة كما هي. هذا وتنوي الولايات المتحدة خلال الخمس سنوات القادمة القيام بعدة مشاريع حربية منها خطة لإنتاج أسلحة كيميائية مزدوجة وتشمل ١٥٥مم قذيفة سارين وقنبلة بي جي ــ في إكس. بينما يقدر ما يملكه الروس من أسلحة كيميائية مابين عشرين ألف إلى سبعمائة ألف طن.

٦ ـ ٣ أنواع الأسلحة الكيميائية.

يوجد عدة أنواع من الكيميائيات، مصنفة حسب تأثيرها الفيسيولوجي، تصلح بأن تستخدم كأسلحة كيميائية وهي كما يلي :

أولاً : الغازات المسيلة للدموع	**Tear Gases**
إثيل برومواسيتيت	Ethyl bromoacetate
كلورواسيتون	Chloroacetone
بروميد زايليل	Xylyl bromide
بروميد بنزيل	Benzyl bromide
بروموميثل إيثل كيتون	Bromomethyl ethyl ketone
برومواسيتون	Bromoacetone
أيودواسيتون	Iodoacetone
إثيل أيودواسيتيت	Ethyl iodoacetate
أيوديد بنزيل	Benzyl iodide
أكرولين	Acrolein
بروموبنزيل سينايد	Bromobenzyl cyanide
كلورواسيتو فينون	Chloroaceto phenone
ثانياً : الغازات الخانقة	**Choking Gases**
كلور	Chloring
ميثل كلوريد سلفيوريل	Methyl Sulfuryl chloride
كلوروميثل كلوروفورميت	Choromethyl chloroformate
إيثل كلوريد سلفيوريل	Ethyl sulfuryl chloride
ثنائي ميثل سلفات	Dimethyl sulfate
بيركلوروميثل مركبتان	Perchoromethylmercaptan
فوسجين	Phosgene (CG)
ثنائي فوسجين	Diphosgene
كلوروبيكرين	Chloropicrin

فينل كاربيل أمين كلوريد	Phenyl carbylamine chloride
فينل ثنائي كلوروأرسين	Phenyl dichloroarisine
ثنائي كلوروميثل إيثر	Dichloromethylether
إيثل ثنائي كلوروأرسين	Ethyldichloroarsine
فينل ثنائي بروموأرسين	Phenyldibromoarsine
ثنائي بروموميثل إيثر	Dibromomethylether
ثالثاً : مسممات الدم	**Blood Poisons**
سيانيد الهيدروجين	Hydrogen cyanide (AC)
بروميد سيانوجين	Cyanogen bromide
كلوريد سيانوجين	Cyanogen chloride (CK)
رابعاً : مسببات القروح	**Blister Agents**
كلوروفاينل ثنائي كلوروأرسين	Chlorovinyl dichloroarsine
ميثل ثنائي كلوروأرسين	Methyl dichloroarsine
ثنائي بروموثيل سلفيد	Dibromoethyl sulfide
غازات الخردل Mustard gases وتشمل :	
ثنائي (بيتا ــ كلوروإيثل) سلفيد	Bis (β-Chloroethyl) sulfide (H)
١، ٢ ثنائي (بيتا ــ كلوروإيثل ثيو) إيثان	1, 2-Bis (β-Chloroethyl thio) ethane (HQ)
ثنائي (بيتا ــ كلوروإيثل ثيوإيثل) إيثر	Bis (β-Chloroethyl thioethyl) ether (HT)
ثلاثي (بيتا ــ كلوروإيثل) أمين	Tris (β-Chloroethyl) amine (HN_3)
خامساً : غازات التقيؤ :	**Vomiting Gases**
ثنائي فينل كلوروأرسين	Diphenyl chloroarsine
ثنائي فينل سيانوأرسين	Diphenyl cyanoarsine
إيثل كربزول	Ethyl carbazole
كلوريد فينارسازين	Phenarsazine chloride

سادساً : كيميائيات الهلوسة	**Halluciogenic Agents**
ميسكالين	Mescaline
بسيلوسين	Psilocin
حمض ليسرجيك ثنائي إيثل أميد	Lysrgic acid diethyl diethyl amide (LSD-25)
سابعاً : غازات الأعصاب	**Nerve Gases**
تابون (جي أي)	Tabun (GA)
سارين (جي بي)	Sarin (GB)
سومان (جي دي)	Soman (GD)
في إكس	Agent (VX)
ثامناً : كيميائيات وسموم أخرى	**Other Agents**
ميثل ــ ن ــ (بيتا ــ كلوروإيثل) ــ ن ــ نيتروزوكرباميت	Methy-N-(β-Chloroethyl)-N-nitroso carbamate (KB-16)
ميثل فلورو أسيتيت	Methyl Fluoroacetate (M F A)
أكسيد كاديوم	Cadmium oxide
كربونيلات نيكل وحديد	Iron and Nickel carbonyls
رزين (بروتين سام في حبوب نبات الخروع).	Recin-(Toxic protein of the castor bean)
سم بكتريا تيتانوس	Tetanus toxin (Bacterial toxin)
سم بتولينيوم	Botulinum toxin (Bacterial toxin)

لقد بدأ عمل أبحاث مكثفة حول استخدام الأسلحة الكيميائية في المعارك في وقت مبكر بلغ ذروته خلال الحرب العالمية الأولى ولكن الأبحاث لم تتوقف بعد نهاية الحرب وإنما استمر الكيميائيون في اكتشاف العديد من الأسلحة المتطورة.

حيث أنه خلال الحرب العالمية الثانية لم يعد يعتبر من الكيميائيات السابقة الذكر إلا غازات الخردل والفوسجين وسيانيد الهيدروجين.

ومن أعراض التسمم بغازات الخردل إلتهاب وتورم وألم في العينين مصحوبة بالعطاس الشديد والكحة المتواصلة ويشعر المصاب بحكة في الجلد والتهابه مع ظهور القرحات به وقد يؤدي ذلك إلى تسرب الميكروبات إلى الجلد المجروح. كما أن التسمم بغازات الخردل يؤدي إلى إلتهاب الجهاز التنفسي والجهاز الهضمي فتحدث فيهما الالتهابات والتقرحات مما يسهل دخول الجراثيم ويسبب الأمراض المعدية. وقد تكون غازات الخردل مركبات عضوية كبريتية لها رائحة تشبه رائحة البصل أو الثوم، كما قد تكون مركبات عضوية نيتروجينية لها رائحة السمك أو رائحة الصابون.

أما غاز الفوسجين فيعتبر من الغازات الخانقة وهو يسبب التهاباً للرئة والعينين وكحة شديدة وضيقاً في التنفس ودموعاً غزيرة. وللفوسجين رائحة الدريس المتعفن.

أما سيانيد الهيدروجين فإنه يوقف إنزيمات الأكسدة في الخلايا ولذلك فإنه يسبب الإختناق والحاجة إلى الهواء. ولغاز سيانيد الهيدروجين رائحة قوية ومميزة.

هذا وقد اكتشف الكيميائيون الألمان إبان نهاية الحرب العالمية الثانية، أسلحة كيميائية ذات فعالية قوية جداً تسمى «غازات الأعصاب». وهي عبارة عن استرات عضوية لحمض الفسفور مرتبط بمجاميع بديلة.

إن غازات الأعصاب تبطل نشاط الأعصاب وبالتالي تؤدي إلى الوفاة حيث أنها توقف عمل الكولينستريز (انزيم يتحكم في التحلل المائي لـ اسيتايل كولين، المادة التي تتدخل في توصيل ونقل إشارات الأعصاب في داخل الجسم وبالتالي يزيد في الجسم كميات أسيتال كولين)، حيث أن غازات الأعصاب تربط هذا الانزيم برابط إنزيمي فسفوري P-O-C. في حالة تعرض الإنسان لكميات غير مميتة فإنه ينتج انقباض حدقة العين وانضغاط في الصدر وألم في الرأس ودوخة وتقيؤ، أما التعرض

لمزيد من غازات الأعصاب فإنه يؤدي إلى الوفاة بعد دوخة وحصر نفسي (قلق) وعجز في التنفس وانقباض في الأعصاب وغير ذلك من الأعراض.

تتميز غازات الأعصاب عن غيرها بالسمية العالية وبأنها عديمة اللون والرائحة تقريباً، وبذلك يصعب اكتشافها على عكس الكيميائيات السابقة الذكر التي تتميز برائحة أو لون مميز أو مضايقات للشخص وبالتالي يمكن تفاديها قبل التعرض لها بكميات قاتلة.

لقد تمكن الألمان من بناء مصنع لغاز الأعصاب تابون في نهاية الحرب العالمية الثانية، إلا أن الروس تمكنوا من احتلاله ولذلك يتوقع أن هذا المصنع ينتج مادة التابون لصالح الروس. والتابون سائل عديم اللون له رائحة فاكهة خفيفة. أما سارين والذي يعرف لدى الولايات المتحدة بـ «جي بي» فلم يتمكن الألمان من تصنيعه بكميات كبيرة نظراً لصعوبة تصنيعه، إلا أن أبحاثاً تلت الحرب العالمية الثانية أدت إلى القناعة بأن سارين أقوى فعالية من تابون للأغراض العسكرية. وسارين عبارة عن سائل قابل للتطاير، وعندما ينتشر باستخدام متفجرات معينة فإنه يصبح على شكل بخار (غاز)، يتم تأثيره عن طريق ملامسته للعيون، أو استنشاقه عن طريق الجهاز التنفسي أو عن طريق الجلد خاصة المجروح، إلا أن أقنعة من نوع خاص قد تقي من ضرر سارين.

إن صاروخاً واحداً من النوع الكبير يمكن أن ينشر كمية كافية من السارين لتسبب أضراراً بنسبة ٣٣٪ للأشخاص غير المقنعين في دائرة قطرها ٢ كيلو متر. ولا يخفى أن دائرة قطرها ٢ كيلو متر في إحدى المدن الكبرى سوف يقطنها آلاف عديدة من الناس. إن سارين سائل كثافته ١٫١ جم/سم³، درجة انصهاره ـــ ٥٧°م، ودرجة غليانه ١٤٧°م، يذوب ويحصل له تحلل مائي في الماء. ويمكن استعجال التحلل المائي له بإضافة هيدروكسيد أو كربونات الصوديوم وينتج مواداً غير سامة نسبياً. والماء لوحده يحوله إلى حمض غير سام نسبياً هو: $CH_3PO[OCH(CH_3)_2]_2\ OH$. هذا وإن الكمية المميتة Lethal Dose (LD) من غاز الأعصاب سارين للإنسان هي ٠٫٠١ ملجرام/كجم.

بالإضافة إلى التابون والسارين فقد اكتشف الكيمائيون الألمان غاز أعصاب ثالث مشابه لتركيب السارين وله تأثير قوي هو سومان تلا ذلك اكتشاف غاز اعصاب يسمى «في اكس»، مؤخراً في الولايات المحتدة.

ويوضح الجدول ٦ ــ ١ فعالية أسلحة كيميائية مختارة هي في الغالب أقوى الأسلحة الكيميائية تأثيراً.

جدول ٦ ــ ١ : فعالية أسلحة كيميائية مختارة.

اسم السلاح الكيميائي	المقدار الضار عن طريق التنفس *(LD50) ملجم في الدقيقة لكل م٣	مــدة التأثير	المقدار المميت عن طريق التنفس *(LD50) ملجرام في الدقيقة لكل م٣	المقدار المميت عن طريق الجلد	مــدة التأثير
فوسجين (CG)	١٦٠٠	٣ــ١٢ ساعة	٣٢٠٠	—	٣ــ٢٤ ساعة
عار الخردل (HD)	٢٠٠	٤ــ٦ ساعة	١٥٠٠	١٠٠٠٠	٤ــ٢٤ ساعة
سيانيدهيدروجين (CK)	—	—	٥٠٠٠	—	٤ــ١٥ دقيقة
تابون (GA)	١٠٠	١ــ١٠ دقيقة	٤٠٠	٤٠٠٠٠	١٠ــ١٥ دقيقة
سارين (GB)	٥٥	١ــ١٠ دقيقة	١٠٠	١٢٠٠٠	٢ــ١٥ دقيقة
سومان (GD)	٢٥	١ــ١٠ دقيقة	٧٠	١٠٠٠٠	١ــ١٥ دقيقة
في اكس (VX)	٥	١ــ١٠ دقيقة	٣٦	١٠٠٠٠	٤ــ١٠ دقيقة

(*) (LD-50) تعني الكمية المضرة لـ ٥٠٪ من المتعرضين للغاز.

إن سيانيد الهيدروجين والفوسجين يؤثران فقط عن طريق الجهاز التنفسي، وينتشران بسبب الرياح ولا يبقيان على الأرض، كما أن أبخرة السارين تنتشر بسرعة (يخزن تحت ظروف باردة) لدرجة أنه غير مناسب لتلويث الأرض nonpersistent، أما السومان وفي اكس فإنهما يبقيان مدة أطول، أي لاتذهب مع الريح وتسمى الباقية persistent، وتجدر الإشارة هنا إلى أن ميزة المواد التي تبقى مدة أطول بأنها تلوث الأرض والآليات مدة أطول وبالتالي تأثيرها يكون على مدى أيام عن طريق الملامسة.

وفيما يلي جدول توضيحي (جدول ٦ ــ ٢) يبين المدة التي تبقى فيها الأسلحة الكيميائية على الأرض.

جدول ٦ ـــ ٢: المدة التي تبقى فيها على الأرض أسلحة كيميائية مختارة.

اسم السلاح الكيميائي	يوم مشمس، درجة الحرارة ٢٠°م، نسيم خفيف	رياح عند ١٠°م	مشمس جليد ١٠°م
غاز الخردل (HD)	٢ ـــ ٧ أيام	٥ر١ يوم	٢ ـــ ٨ أسابيع
تابون (GA)	١ ـــ ٤ أيام	٣ ساعات	١ ـــ ٢ أسابيع
سارين (GB)	٤ ـــ ٦ ساعات	٤ ساعات	١ ـــ ٢ أيام
سومان (GD)	٢ ـــ ٥ أيام	٢٠ ساعة	١ ـــ ٦ أسابيع
في اكس (VX)	٣ ـــ ٢١ يوم	٦ ساعات	١ ـــ ١٥ اسبوع

٦ ـــ ٤ وسائل الوقاية من الأسلحة الكيميائية.

إن كثيراً من الأسلحة الكيميائية لها رائحة تميزها لذلك يكون هناك وقت كاف للهروب ولارتداء الأقنعة والملابس الواقية. وحتى غازات الأعصاب التي يصعب تمييزها يمكن كشفها في وقت مبكر من الهجوم باستخدام أجهزة خاصة تستطيع قياس حتى النسب المخفضة من غاز الأعصاب في الجو وبذلك يمكن استعمال الأقنعة الواقية مما يقلل من الإصابات.

يحتوي القناع على مرشح بداخله حبيبات بحجم حبة الشعير من فحم نباتي ينقي الهواء من الغازت السامة قبل أن تصل إلى الفم والأنف والعينين. وتعتمد فكرة المرشح على قدرة الفحم النباتي على امتصاص الغازات أو الأبخرة القابلة للتكثف. ويجب تنشيط حبيبات الفحم النباتي قبل الاستعمال وذلك بتسخينها إلى درجة حرارة ٩٠٠°م لتخلو مسامها من المواد العضوية بما فيها الغازات فيسهل عليها امتصاص الغازات وقت الاستعمال. كما يجب أن يحتوي القناع على وسائد من القطن أو الصوف أو الحرير الصخري لحجز الدخان حيث أن الفحم لايمتصه وذلك لكبر حجم جزيئات الدخان. كما يجب أن يحتوي القناع على نظام خاص لمنع تكدير جهاز الإبصار، وأن يحتوي على صمامات للتحدث. وتوجد أنواع متعددة من الأقنعة الواقية مثل القناع الأمريكي $M_{17}CB$ وهو يستخدم كقناع واق ضد الأسلحة الكيميائية وكذلك الجرثومية كما أنه يقي نوعاً ما من الغبار الذري

الذي يحدث خلال الانفجارات النووية وبعدها. ومن أنواع الأقنعة أيضاً القناع المدني CDV-805.

أمّا عند إصابة الأشخاص بالكيميائيات السامة قبل التمكن من لبس الأقنعة والملابس الواقية فإن أفضل طريقة هي محاولة التخلص من الكيميائيات السامة عن طريق عمليات التنفس الصناعي المعتدل (أي يجب عدم الإفراط فيه) واستخدام الأكسجين بإعتدال أيضاً للمساعدة على التنفس، كما يجب غسل العينين وباقي أعضاء الجسم بمحلول ٢٪ بيكربونات الصوديوم وإن لم يتوفر فتغسل بالماء جيداً، كما يجب استبدال الملابس المتلوثة بالكيميائيات السامة. يلي ذلك علاج الأعراض الناتجة عن تلك الكيميائيات، فمثلاً إذا أُصيب الشخص بالالتهاب الرئوي فإنه يعالج بالمضادات الحيوية مثل البنسلين ومركبات السلفابيريدين. وإذا كان التسمم ناتجاً عن مركبات السيانيد فيعطى حقناً متقطعة كل أربع ساعات من نيتريت الصوديوم أو ثيوسلفيت الصوديوم وذلك في الوريد.

أما بالنسبة لغازات الأعصاب بالذات فإنه بالإمكان إعطاء المصاب بعض العقاقير الطبية التي قد تساعد على شفائه إذا كان لايزال حياً. فقد وجد أنها تشفي بعض التأثيرات الناتجة عن غاز الأعصاب عندما يحقن المصاب بكميات كبيرة من مادة الأتروبين وذلك لأن الأتروبين يقوم بعمل مضاد للاستيل كولين الذي يزداد تركيزه في الجسم بسبب غازات الأعصاب كما ذكر سابقاً. يعطى المصاب عادة حقناً من سلفات الأتروبين في العضل أو الوريد على فترات متقطعة تتكون كل حقنة من ٢٥ر٠ إلى ٢ مليجرام من الأتروبين إلّا أن زيادة الكمية قد تكون ذات أثر سيء. كما اكتشف في بريطانيا عقار طبي جديد يسمى ب ٢ ــ س P2-S وهو عبارة عن أوكسيم يستعمل مع الأتروبين وقد كانت نتائجهما أفضل كمضادات لغازات الأعصاب.

هذا وقد طورت حديثاً مواد تبدو نوعاً ما أكثر تأثيراً من الأتربين، حيث أنها تفصل مجموعة الفسفور المرتبطة ببقية السيرين (حمض أميني) في الإنزيم المثبط. وكمثال على ذلك فإن غاز الأعصاب دي إف بي DFP (سام ولكنه أقل تأثيراً من السارين) يتفاعل مع اسيتايل كولينستريز (أو إنيزيمات أخرى معينة) لينتج إنزيم

مرتبط بالفسفور وبالتالي يصبح الإنزيم غير نشط أو بمعنى آخر مثبط. يمكن إعادة تنشيطه بمعاملته بـ هيدروكسيل أمين حيث يفك الربط الإنزيمي الفسفوري. إلّا أن هيدروكسيل أمين سام عندما يعطي بتركيز كاف لإزالة الربط. ولكن لحسن الحظ فقد وجد أن بيريدين ألدوكسيم ميثوديد (PAM) يؤثر بتراكيز منخفضة وبالتالي فهو مضاد مناسب لغاز الأعصاب.

وتجدر الإشارة إلى أن الأبحاث مستمرة في هذا المجال، فقد وجد حديثاً أن أنزيماً يمكن الحصول عليه من عصب الحبار (حيوان رخوي من رأسيات الأرجل) يحلل مائياً مثبط الكولينستريز (دي إف بي DFP) وبالتالي يمكن التخلص من سمية غازات الأعصاب الملوثة للبيئة باستخدام هذا الإنزيم.

٦ ــ ٥ الأضرار والاحتياطات اللازمة عند تداول الكيميائيات.

إتضح مما سبق الأضرار والاحتياطات اللازمة من جراء الأسلحة الكيميائية والآن سوف نستعرض الأضرار والاحتياطات الواجب اتباعها عند التعامل مع المواد الكيميائية بشكل عام لما لذلك من علاقة بالموضوع السابق.

قد تسبب المواد الكيميائية إصابات ضارة بصحة الأفراد (سموم) وقد تسبب حرائق وانفجارات إذ أن بعضها قد تساعد على الاشتعال أو قد تشتعل بمجرد ملامستها للماء مثل الليثيوم والصوديوم والبوتاسيوم وثنائي ايثل زنك ومركبات الليثيوم العضوية وغيرها. وهذه المواد الكيميائية السامة والضارة يمكن تقسيمها إلى ما يلي:

١ ــ الغازات والأبخرة.

وهذه الغازات أو الأبخرة قد تكون خانقة مثل ثاني أكسيد الكربون أو تكون كاوية مثل الأمونيا والكلور والغازات الحمضية (مثل كلوريد الهيدروجين) وغازات النيتروجين. أو قد تكون سامة مثل كبريتيد الهيدروجين، وأول أكسيد الكربون وحمض الهيدروسيانيك وبخار الزئبق. أو مخدرة مثل البنزين ورابع كلوريد الكربون والكلوروفورم.

لذلك يجب الاهتمام بوسائل سحبها في المصانع والمختبرات الكيميائية كما يجب لبس أقنعة خاصة للحماية منها.

٢ ـ السوائل.

قد تكون السوائل سامة عند ملامستها أو ابتلاعها وقد تكون كاوية مثل الأحماض والقلويات. لذلك يجب عدم نقلها بطريقة يدوية بل تنقل بطريقة أتوماتيكية. كما يجب لبس الملابس الواقية وأغطية الرأس والقفازات والأحذية المطاطية والنظارات الواقية وأحياناً واقيات الوجه.

٣ ـ المواد الصلبة.

وهذه قد تكون سامة عند استنشاقها كغبار أو عند تناولها أو ملامستها مما يستدعي ضرورة استخدام أجهزة تنفس واقية ومحاولة عدم لمس المواد الكيميائية إلا بعد التأكد من عدم ضررها.

وفي حالة ابتلاع الكيميائيات بمختلف صورها فإن أفضل طريقة هي إحداث التقيؤ إلّا أنه في بعض الحالات نجد أن التقيؤ قد يحدث أضراراً للشخص خاصة عندما يكون المصاب قد ابتلع أحماضاً أو قلويات، لأن هذه المواد تحدث في المعدة قرحات قد يضرها التقيؤ. لذلك فإنه في حالة ابتلاع الأحماض فإنه يفضل إعطاء اللبن والماء أو لبن المغنسيوم. أمّا إذا كان قد ابتلع قلوياً كاوياً فيمكن أن يتناول اللبن والماء أيضاً وكذلك عصير الفواكه والخل حتى يأتي الطبيب.

أماً في حالة استنشاق كيميائيات سامة فإنه يجب إبعاد المصاب عن المنطقة الملوثة بتلك الكيميائيات إلى مكان ذي تهوية جيدة ونقية ثم إجراء عملية تنفس اصطناعي إذا كان هناك اضطراب في التنفس مع عدم الإفراط في إجراء هذه العملية حتى يأتي الطبيب لوصف العلاج المناسب حسب نوع الغاز المستنشق. فمثلاً يوصف تروبين ـ الدوكسيم لعلاج الإصابة بغازات الأعصاب وهكذا كما سبق شرحه.

وفي حالة تلوث الجلد والملابس بالكيميائيات فإنه ينصح بنزع الملابس الملوثة ومسح الكيميائيات من على الجلد ثم غسلها جيداً بالماء بأسرع وقت ممكن، كما يجب غسل العينين بالماء جيداً في حالة وصول هذه الكيميائيات إليها.



الفصل السابع
تلوث البيئة بالمواد المشعة

٧ ــ ١ مقدمــة.

لاتقل خطورة التلوث بالأشعة عن التلوث بالمواد الكيميائية سواءً على الإنسان أو الحيوان أو النبات. وكثير من أنواع الأشعة ذات صفات تراكمية في الكائنات الحية. أي أنها تتراكم في الخلايا ويظهر تأثيرها عندما تصل إلى تركيز معين. ويختلف هذا التأثير حسب نوع الإشعاع فقد يكون ذا اثر حراري فقط وقد يكون ذا تأثيرات بيولوجية مثل الإصابة بأمراض السرطان وغيرها كما سيتضح فيما بعد.

يذكر الدكتور محمد جمعة في كتابه تلوث البيئة بأن متوسط ما يتعرض له الفرد في المملكة العربية السعودية من إشعاع هو ١٢٩ ميلي ريم في السنة ويأتي هذا الإشعاع من الغبار الذري ومن التليفزيون والأشعة الكونية الطبيعية وأشعة إكس وأشعة من مصادر أخرى وذلك حسب ماتبينه دراسات أجريت بين عامي ١٤٠١ و ١٤٠٣هـ. وينتج عن هذا التعرض للأشعاع الطبيعي والمصنع ٢٥٨ حالة وفاة بالسرطان في العام الواحد. هذا ويتعرض الفرد في إنجلترا إلى ضعف هذا القدر من الإشعاع. أي أنه يتعرض إلى ٢٤٠ ميلي ريم في السنة. هذا وأن ما يتعرض له الفرد في السعودية يعتبر أقل من متوسط ما يتعرض له الفرد على مستوى العالم. فالوكالة الدولية للطاقة الذرية (آيا) تذكر بأن الفرد يتعرض إلى ١٨٠ ميلي ريم في السنة.

٧ ــ ٢ : تصنيف الأشعة.

يمكن تصنيفها حسب خواصها إلى أشعة مؤينة لذرات الوسط الموجودة فيه ــ أي تعطي طاقة تكفي بأن تفقد الذرات بعض إلكتروناتها وتصبح هذه الذرات

أيونات موجبة ــ وإلى أشعة غير مؤينة. وتشمل الأشعة المؤينة كل من أشعة ألفا وبيتا وجاما وأشعة إكس (الأشعة السينية)، بينما تشمل الأشعة غير المؤينة أشعة الموجات القصيرة (ميكروويف) والأشعة تحت الحمراء وأشعة الضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية.

كما يمكن تصنيف الأشعة حسب مصدرها إلى أشعة ذات مصدر طبيعي مثل أشعة الضوء المرئي وغير المرئي (تشمل الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية القادمة من الشمس) والأشعة النووية الصادرة عن العناصر الطبيعية المشعة. وإلى أشعة ذات مصدر صناعي مثل أشعة الموجات القصيرة وأشعة ليزر وأشعة إكس والأشعة النووية الصادرة من الإنفجارات النووية المتحكم فيها كما هو في المفاعلات النووية وغير المتحكم فيها كما هو في القنابل النووية.

ويمكن أيضاً تصنيفها إلى أشعة على شكل موجات كهرومغناطيسية مرئية وغير مرئية وأشعة على شكل جسيمات. وتشمل الموجات الكهرومغناطيسية المرئية كل من أشعة الطيف القادمة من الشمس وأشعة ليزر. بينما تشمل الموجات الكهرومغناطيسية غير المرئية كل من الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية والقادمة من الشمس وأشعة الموجات القصيرة وأشعة إكس وأشعة جاما. يتغير طول الموجة في الأشعة الكهرومغناطيسية من ٣كم في موجات الراديو الطويلة، إلى المليمترات في الموجات القصيرة (ميكروويف)، إلى الميكرون في الأشعة تحت الحمراء، إلى الأنجستروم في أشعة إكس. وتشمل الأشعة التي على شكل جسيمات ولها أوزان محددة كل من أشعة ألفا وبيتا والنيترونات.

٧ ــ ٣ الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية.

هي أشعة غير مرئية وتصدر من الشمس. كما وتوجد الأشعة تحت الحمراء (IR) بكثرة في الأطياف التي تزداد فيها الأشعة الحمراء المرئية لذلك يمكن الحصول عليها من المصباح الكهربي ومن الأجسام المسخنة لدرجة الإحمرار. أمَّا الأشعة فوق البنفسجية (UV) فتوجد بكثرة في الأطياف التي تزداد فيها الأشعة البنفسجية المرئية لذلك يمكن الحصول عليها من المصباح الكهربي ومن مصباح

بخار الزئبق، إلّا أن مصدرها الأساسي هو الشمس وتزداد في أوقات الظهر في فصل الصيف.

يقتصر تأثير الأشعة تحت الحمراء في كونها ذات تأثير حراري فقط مثل باقي أشعة الشمس، لذلك تستخدم في التدفئة. أمّا الأشعة فوق البنفسجية فليس لها تأثير حراري ولكن لها خواص فسيولوجية ولذلك تستخدم لعلاج بعض الأمراض الجلدية وفي التعقيم ولها دور هام في تكوين فيتامين د، كما أنها تستخدم في مجالات الأبحاث العلمية. إلّا أن التعرض المستمر لها قد يسبب أوراماً سرطانية بالجلد. وبشكل عام ينصح بعدم الإفراط في التعرض لأشعة الشمس، كما ينصح بإستعمال النظارات الواقية.

٧ ـــ ٤ أشعة الموجات القصيرة (ميكروويف).

إن التأثير الرئيسي للتعرض للأشعة غير المؤينة مثل أشعة الموجات القصيرة (الميكروويف) هو الحرارة والحروق. وقد سجل أكثر من ٤٠ حالة في أمريكا ممن يتعاملون بها. أمّا أفران الميكروويف التي تقوم بتوزيع الحرارة بإنتظام خلال الطعام في فترة زمنية قصيرة فهي عادة مجهزة بطريقة أمينة وغير ضارة إلّا إذا استعملت بطريقة خاطئة مثل التعرض مباشرة للأشعة حيث أنها تولد حرارة عالية. هذا وتستخدم أشعة الموجات القصيرة في العلاج الطبيعي حيث يتم تخفيف آلام العضلات والمفاصل عن طريق الحرارة التي تصاحب هذه الأشعة.

٧ ـــ ٥ أشعة التليفزيون.

يتعرض الشخص لمقدار من الإشعاع قدره ١ ميلي ريم في السنة من الإشعاع المؤين الذي ينطلق عند تشغيل التليفزيون وقد تنبعث أشعة إكس بشكل خفيف. هذا وينصح الابتعاد عن التليفزيون للحماية من أضرار الإشعاع على أجزاء الجسم المختلفة وخاصة العيون.

٧ ـــ ٦ أشعة إكس (الأشعة السينية أو أشعة رونتجن).

تنطلق هذه الأشعة نتيجة التغير في حالات الإلكترونات بالمدارات الداخلية للذرات. وهي أشعة كهرومغناطيسية طول موجتها لايتجاوز واحد انجستروم أي

حوالي ١/٥٠٠٠ طول موجة الضوء المرئي. ولديها قدرة على إختراق الأجسام لذلك فهي تستخدم في الطب لغرض التشخيص حيث يتم تصوير الأجزاء الداخلية في الجسم كما أن لها استخدامات في الكشف عن المعادن في أعماق الأرض وتستخدم أيضاً في مجالات الأبحاث العلمية.

ولأشعة إكس تأثير ضار يتمثل في فقر الدم والعقم وتهتك في الجلد والشعر وغير ذلك وهي تؤثر على من يتعامل معها من الفنيين والأطباء والمرضى. لذلك فلابد من الوقاية من هذه الأشعة حيث يتم وضع حواجز قوية من الرصاص أو الأسمنت لحماية الفنيين والأطباء. كما ينصح بعدم الإفراط في تشخيص المرض بإستعمال هذه الأشعة.

٧ ــ ٧ أشعة ليزر.

إن كلمة ليزر Laser هي اختصار للحروف الأولى من عبارة تعني «تضخيم وتقوية الضوء بواسطة إثارة وتنشيط موجاته الإشعاعية». وجهاز ليزر يعمل على تجميع الإشعاعات الضوئية، التي يولدها في داخله، من اتجاهات مختلفة، ويعمل على تركيزها وتقويتها وإطلاقها على شكل حزمة ضوئية ضيقة جداً وذات أطوال موجية موحدة، في اتجاه مركز واحد. وهي أشعة كهرومغناطيسية مرئية، كأشعة الضوء العادي، ولكنها ذات موجات متجانسة ومتماسكة يقوى بعضها بعضاً عند الانطلاق فتزداد شدتها وبالتالي تستطيع قطع مسافات لا نهائية بخط مستقيم. وهذا ما يميز جهاز ليزر عن مصادر الضوء العادي. حيث أن مصادر الضوء العادي ترسل موجات مختلفة الأطوال والألوان من الأشعة الضوئية في جميع الاتجاهات تتفرق وتتناثر وتنخفض شدتها بسرعة وتتلاشى في الفضاء كلما ابتعدت عن مركز الإشعاع.

لأشعة ليزر استخدامات عديدة في مجال الصناعة والطب. كما أن لها استخدامات عسكرية مثل استخدامها في أجهزة تحديد الهدف، وتقدير المسافات، والتوجيه. فقد طورت الولايات المتحدة قنابل للطائرات موجهة بأشعة ليزر، هذه القنابل تدعى بقنابل «سمارت». كما أن هناك صواريخ موجهة بأشعة ليزر مثل الصاروخ جو ــ أرض الأمريكي (صاروخ يعرف باسم «بوادوغ»،

والصاروخ أرض ـــ جو السويدي (يعرف باسم بوفورز ار ـــ بي ـــ اس ٧٠)، وغيرها. لذلك فإن أشعة ليزر تعتبر من أهم وسائل الأسلحة الإلكترونية التي يتوقع لها تطور كبير في المستقبل.

أمّا استخدامات خاصية شدة أشعة ليزر وطاقتها العالية فهي مقصورة على الصناعة والطب، وذلك لصعوبات فنية تتعلق بتأمين مصادر طاقة مناسبة وبضعف فعالية أشعة ليزر في نقل الطاقة من صورة إلى أخرى. لذلك فإن تطبيق أشعة ليزر في صنع أسلحة تطلق أشعة قاتلة أو مدمرة أمر مستبعد في المستقبل القريب. إلّا أنه تجدر الإشارة إلى أن بعض الدول قد توصلت إلى حلول جزئية لهذه الصعوبات. فقد أجريت في الولايات المتحدة عدة تجارب ناجحة لاستخدام أشعة ليزر في إسقاط طائرة موجهة عن بعد، وهذا مما يزيد من أهمية أشعة ليزر كسلاح من أسلحة المستقبل.

وعلى الرغم من أن أشعة ليزر لاتمثل خطراً يذكر على تلوث البيئة، إلّا أن خطرها يظهر واضحاً على مستخدميها سواءً في مختبرات الجامعات أو المستشفيات أو في الصناعة، لذلك لابد من اتخاذ الإحتياطات اللازمة ومحاولة عدم التعرض لهذه الأشعة. ويرجع ضرر أشعة ليزر إلى تأثيرها الحراري. وأكثر الأجزاء التي تتعرض لها الجلد والعيون لذلك لابد من تفادي التعرض لها واستخدام نظارات واقية. كما أن أشعة ليزر تختلف شدتها وأضرارها حسب مصدرها وطاقتها حيث أنها أحياناً قد تصبح أشعة مئينة وتسبب أضراراً بالغة وتحدث شرارة كهربائية كما هو الحال في الأشعة النووية.

٧ ـــ ٨ الأشعة النووية.

تتكون المواد من ذرات كل ذرة عبارة عن وحدة صغيرة تتكون من أجزاء مختلفة. ففي وسط الذرة يوجد منطقة صغيرة جداً وكثيفة موجبة الشحنة تسمى النواة. تحتوي النواة على بروتونات موجبة الشحنة، ونيوترونات متعادلة الشحنة. وتحيط بالنواة إلكترونات، تشغل حيزاً كبيراً مقارنة بالنواة، في مستويات مختلفة من الطاقة. تتحرك الإلكترونات بسرعة كبيرة جداً وهي جسيمات سالبة الشحنة كتلة كل منها تساوي ٩ × ١٠^{-٢٨} وحدة كتلة ذرية (و ك ذ). ويكون

عدد الإلكترونات في أي ذرة من ذرات العناصر مساوياً لعدد بروتوناتها وبذلك تكون الذرة متعادلة كهربياً. وللبروتونات كتلة مساوية لكتلة النيوترونات وكل منهما تساوي تقريباً وحدة كتلة ذرية واحدة وأي منهما أكبر من كتلة الإلكترون بـ ١٨٣٦ مرة، لذلك فإن النواة تشكل أكثر من ٩٩٫٩٪ من كتلة الذرة. يكون الفرق بين ذرات عنصر ما وذرات عنصر آخر بعدد البروتونات (أو عدد الإلكترونات) التي تحتويها كل ذرة. أما عدد النيوترونات فيمكن أن يختلف حتى في ذرات العنصر الواحد ويشكل مايعرف بنظائر العنصر. حيث تسمى ذرات العنصر الواحد التي تختلف في عدد النيوترونات بالنظائر Isotopes. ويطلق على عدد البروتونات والنيترونات المكونة لنواة الذرة بعدد الكتلة mass number. وعدد الكتلة هذا يساوي تقريباً كتلة النواة. وبالتالي فإنه يساوي تقريباً كتلة الذرة، إذا أغفلنا كتلة الإلكترونات التي هي صغيرة جداً مقارنة بكتلة البروتونات أو النيوترونات.

الآن وبعد أن عرفنا محتويات الذرات يمكننا إيجاد الفرق بين المتفجرات التقليدية (غير النووية) وبين المتفجرات النووية.

إن الانفجار في المتفجرات التقليدية ماهو إلَّا تفاعل كيميائي سريع جداً لايتاح للطاقة المصاحبة له أن تتبدد. وينجم عن هذا التفاعل تكون كميات هائلة من الغاز، تتمدد بتأثير الحرارة وتدفع ما أمامها مسببة الانفجار. والتفاعل الكيميائي بشكل عام يترك نواة الذرة دون تغير والذي يتعرض للتغير هو الكترونات المدارات الخارجية فقط.

أمَّا الانفجار النووي فيحدث نتيجة لتغير في نواة الذرة. ويكون هذا التغير إمَّا على شكل انقسام في نوى الذرات Nuclear Fission ينتج عنه طاقة كما يحدث في حالة القنبلة النووية، أو على شكل التحام في نوى الذرات Nuclear Fussion كما يحدث في حالة القنبلة الهيدروجينية.

لقد بين ألبرت إينشتاين (العالم الألماني والذي هاجر فيما بعد إلى أمريكا) في عام ١٩٠٥م أن المادة يمكن أن تتحول إلى طاقة كما أن الطاقة يمكن تحولها إلى

مادة، فإذا فقدت المادة بعض طاقتها نقصت كتلتها بكمية تناسب مع هذا النقص وفقاً لمعادلة إينشتاين :

$$E = mc^2$$

حيث أن E عبارة عن الطاقة.
m الكتلة
C^2 مربع سرعة الضوء.

ولمّا كانت قيمة C كبيرة جداً (٢٫٩٩٨ × ١٠^١٠ سم/ثانية) فإن مقداراً ضئيلاً من المادة يتحول إلى قدر هائل من الطاقة. ففي الانشطار النووي يحصل انقسام لذرات المعادن الثقيلة مثل اليورانيوم ٢٣٥ (عدد الكتلة ٢٣٥) أو البلوتونيوم ٢٣٩ (عدد الكتلة ٢٣٩). يكون نتيجة هذا الانقسام تكون ذرات أصغر يكوِّن مجموع كتلها أصغر من كتلة الذرة قبل الانقسام، ويتحول فرق الكتلة هذه إلى طاقة هائلة والتي تصاحب التفجير النووي.

لقد اكتشف العالمان الألمانيان شتراسمان Strassmann وأوتو هان Otto Hahn في عام ١٩٣٨م تفاعلاً نووياً عظيماً، عبارة عن انقسام نواة اليورانيوم ٢٣٥ بعد قذفها بالنيوترونات إلى عنصري الباريوم والكريبتون. وقد صاحب انقسام هذا العنصر الثقيل إنطلاق نيوترونات وتصاعد كميات كبيرة من الطاقة تبلغ ٥ × ١٠^١٢ سعر حراري لكل جزيء جرامي من اليورانيوم. وحيث أن الكيلو جرام الواحد من اليورانيوم يحتوي تقريباً على أربع ذرات جرامية، فإن الطاقة المنطلقة من كيلو جرام واحد من اليورانيوم تبلغ ٢ × ١٠^١٣ سعراً حرارياً وهي كمية هائلة إذا ماقورنت بالطاقة المنطلقة من احتراق كيلو جرام واحد من الفحم الحجري التي تبلغ ٨ × ١٠^٦ سعراً حرارياً، أي أن اليورانيوم يفوق الفحم كمصدر للطاقة بمقدار ٢٫٥ مليون مرة.

ونظراً لأن الانقسام النووي السابق يكون مصحوباً بانطلاق نيوترونات إضافية، فإنه يتتابع على شكل تفاعلات نووية سلسلية طالما أن اليورانيوم لايزال موجوداً.

$$^{235}U + {}^{1}n \longrightarrow {}^{139}Ba + {}^{94}Kr + 2{}^{1}n + Energy$$

يورانيوم ٢٣٥ نيوترون — باريوم كريبتون نيوترونات طاقة

يمكن التحكم في الانقسام النووي السابق بحيث يصبح مصدراً لعدد من العناصر المشعة وذلك في حالة استخدام أجهزة خاصة للتحكم في التفاعلات النووية السلسلية، تسمى أجهزة التحكم هذه بالمفاعلات النووية Nuclear Reactors. كما يمكن استخدام الطاقة الحرارية الناتجة من التفاعلات النووية المتحكم فيها في وحدات بخارية تدير مولدات للطاقة الكهربية أمَّا الإنقسامات النووية (التفاعلات النووية) غير المتحكم فيها فهي التي تستخدم كمتفجرات نووية.

أولاً : المفاعلات النووية.

تعتبر المفاعلات النووية مصدراً للتلوث بالإشعاع إذا حصل تسرب من المفاعل كما حدث في مفاعل جزيرة الثلاثة أميال في مارس عام ١٩٧٩م بولاية بنسلفينيا في الولايات المتحدة الأمريكية. وعلى الرغم من أن هذا الحادث لم يسفر عنه ضحايا إلّا أنه قد انطلقت كمية كبيرة من الأشعة أدت إلى تلوث المنطقة وقد كلف إعادة تشغيل المفاعل مبلغ يقدر بحوالي ٨٠٠ مليون دولار أمريكي.

هذا وتعتبر كارثة مفاعل تشرنوبل التي وقعت في الاتحاد السوفيتي في ٢٦ من شهر إبريل عام ١٩٨٦ تعتبر أسوأ كارثة للمفاعلات النووية عرفها العالم حتى الآن. حيث اشتعلت النيران في الوحدة الرابعة من المفاعل النووي مما أدى إلى ذوبانه ثم بدأت تتسرب كميات هائلة من الإشعاع مما أدى إلى إصابة عدد كبير من الأشخاص القريبين من المفاعل ويقدر عدد الوفيات في هذا الحادث بـ ٣١ شخصاً. وبالرغم من أن هذا العدد يبدو منخفضاً إلّا أن عشرات الألوف قد يصابون بالسرطان نتيجة لتعرضهم لتراكيز عالية من الإشعاع سواء من الهواء أو من تناول الماء والطعام الملوثين بالإشعاع. وقد عم الإشعاع معظم الكرة الأرضية نتيجة لحادث مفاعل تشيرنوبل، إلا أن أكثر المناطق تأثراً هي أوروبا الشرقية القريبة من موقع المفاعل مما أدى إلى تأثر كثير من المحصولات الزراعية والمنتجات الغذائية حيث تم تدمير الكثير من الحليب والخضروات الملوثة بالإشعاع في ألمانيا الغربية، كما تم تدمير قطعان كبيرة من غزلان الرنة في الدول الاسكندنافية بعد أن تلوثت هذه الحيوانات بكميات عالية من الإشعاع.

هذا وقد تم دفن الوحدة الرابعة بمفاعل تشرنوبل كما قام المختصون بتغطية أرض واسعة مشبعة بالإشعاع حول المنطقة بمواد خاصة لمنع التربة السطحية المتأثرة بالإشعاع من تلويث الهواء والمياه الجوفية.

هذا ومما يزيد خطورة المفاعلات النووية هو تزايد عددها في العالم حيث يوجد في الوقت الحالي ٣٧٤ مفاعلاً نووياً في العالم بالإضافة إلى ١٥٧ مفاعلاً تحت الإنشاء. إضافة إلى احتمال تسرب الإشعاع من المفاعلات النووية فإن مخلفات الوقود النووي المستخدمة في المفاعلات النووية تعتبر من أخطر عوامل التلوث بالإشعاع. لذلك يجب التخلص من هذه المخلفات المشعة بوضعها في أوعية محكمة ودفنها في أعماق بعيدة سواء في قاع البحر أو في الأرض مع اتخاذ الإحتياطات اللازمة بعدم تلويثها للمياه الجوفية.

ثانياً : المتفجرات النووية.

(أ) القنبلة النووية (الذرية) Nuclear (Atomic) Bomb

يمكن أن يحدث الانشطار النووي Nuclear Fission في عنصري اليورانيوم ٢٣٥ والبلوتونيوم ٢٣٩ وذلك عندما يتعرضان لسيل من نيوترونات بطيئة وكما أشرنا سابقاً فإن هذا الانشطار ينتج عنه انطلاق نيوترونات تهاجم ذارت أخرى وتنشطر وهكذا يحدث التفاعل السلسلي النووي.

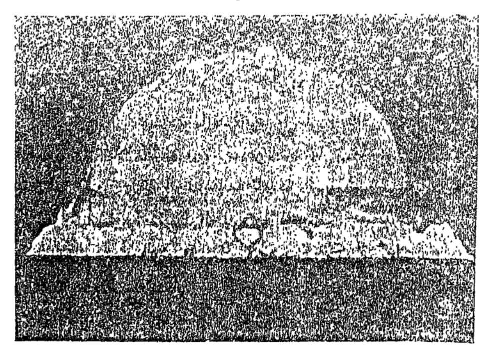
إلّا ان فكرة القنبلة النووية تعتمد على انشطار نوى اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم ٢٣٩ دون الإستعانة بالنيوترونات لبدء التفاعل السلسلي. فإذا أخذ أربعة إلى ثمانية كيلو جرامات من يورانيوم ٢٣٥ أو بلوتونيوم ٢٣٩، ثم تعرضت فجأة لضغط كبير في فترة قصيرة جداً تبلغ جزءاً من المليون من الثانية فإن كتلتها تنكمش إلى حجم أصغر ويحدث انشطار نووي بطريقة تلقائية وتنطلق كمية من الطاقة تكافيء ما ينتج من انفجار عشرين ألف إلى مائتي ألف طن من مادة ثلاثي نيتروتولوئين TNT. تعتمد مقدار الطاقة الناتجة عن انفجار القنبلة النووية بشكل عام على نوعية التنقية المستخدمة في صنع القنبلة النووية. فمثلاً كانت القنبلة البدائية الأولى التي ألقيت على مدينة هيروشيما، تزن ٤ اطنان وتحتوي على قدرة تدميرية تعادل ٢٠ ألف طن

من ثلاثي نيترو تولوئين TNT بينما طورت حالياً هذه القنابل النووية بحيث أصبحت تزن ١ر٠ طن فقط بقوة تدميرية تعادل ٢٠٠ ألف طن من TNT. وكما هو معروف فإنه كلما زادت القوة التدميرية للقنبلة وقل وزنها كلما كانت أكثر كفاءة، بحيث يمكن حملها بسهولة على شكل رؤوس نووية بواسطة الصواريخ. تستخدم مثل هذه القنابل النووية كأسلحة استراتيجية للهجوم على أهداف كبيرة مثل المدن. هذا ويمكن تصنيع قنابل نووية صغيرة تكون قدرتها التدميرية في حدود ألف إلى خمسة آلاف طن من TNT تستخدم كأسلحة تكتيكية يتم قذفها بمقاتلات أو صواريخ للهجوم على أهداف صغيرة مثل المطارات ومصانع الأسلحة ومواقع الصواريخ وغيرها.

تتكون القنبلة النووية عادة من ٤ إلى ٨ كيلو جرامات على شكل كميتين منفصلتين من يورانيوم ٢٣٥ المغنى بنسبة أعلى من ٨٠٪ (أي يحتوي على أكثر من ٨٠٪ من يورانيوم ٢٣٥ السريع الإنشطار وأقل من ٢٠٪ يورانيوم ٢٣٨ الطبيعي)، أو البلوتونيوم ٢٣٩ وجهاز خاص لجمع وضغط هاتين الكميتين ضغطاً مفاجئاً إلى حجم أصغر. يمكن إحداث هذا الضغط باستخدام كمية من مادة ثلاثي نيتروتولوئين TNT الشديدة الإنفجار. وحتى يكون الانفجار النووي ناجحاً يجب أن يستفاد من جميع النيوترونات المنطلقة في شطر جميع نوى اليورانيوم أو البلوتونيوم ويتطلب ذلك نقاء هاتين المادتين من الشوائب التي تمتص النيوترونات كالكادميوم مثلاً. كما يجب ألّا تتشتت النيوترونات وتبطيء سرعتها وذلك بأن تكون كمية اليورانيوم أو البلوتونيوم المستخدمة مناسبة بحيث لا تسمح بتشتت النيوترونات. فيجب ألّا تقل كتلة اليورانيوم أو البلوتونيوم عن مقدار معين (٤ إلى ٨ كيلو جرامات) يعرف بالكتلة الحرجة التي تشغل حجماً معيناً عندما تضغط فجأة يعرف بالحجم الحرج بحيث يسمح باقتناص كل النيوترونات وعدم ضياع أي منها.

عند حدوث الإنفجار النووي فإن الطاقة الناتجة تحول المواد المستخدمة إلى غاز وينتج ضغط هائل وريح شديدة السرعة تتكون نتيجة التمدد المفاجيء، كما ينتج وميض وهاج أقوى من ضوء الشمس ودرجة حرارة تصل إلى عشرة ملايين درجة مئوية، وعندما يتحرر الغاز من هذا الضغط تنطلق موجة لافحة تحمل خطراً مميتاً على هيئة إشعاعات قوية مؤينـة مختلفة الأنواع تؤدي إلى تأين المنطقة القريبة من

مركز التفجير ويسري تيار كهربي ومغناطيسي في الهواء والأرض مما يؤثر على الأجهزة الكهربائية وبذلك يؤدي إلى قطع التيار الكهربي وإيقاف محركات السيارات حتى الواقعة على مسافات بعيدة نسبياً من موقع الانفجار. هذا غير الأتربة الكثيفة التي تثار وتكتسب خاصية الإشعاع باندماجها في عملية التفجير واختلاطها بالإشعاعات أثناء الإنفجار النووي (شكل ٧ ــ ١).



شكل ٧ ــ ١ : صورة توضح الانفجار النووي، ٠٣٤ر، من الثانية بعد الانفجار

وتتكون هذه الأشعة في الغالب من ثلاثة أنواع هي أشعة ألفا وبيتا وجاما . تتألف أشعة ألفا من جسيمات لها شحنة موجبة مقدارها + ٢ وكتلتها تساوي ٤ وهي عبارة عن أيونات الهليوم He^{+2}. ونظراً لثقل هذه الجسيمات وانخفاض سرعتها النسبية (يبلغ متوسط سرعتها عشر سرعة الضوء) فإنها لاتخترق الأجسام بسهولة. فهي تخترق مسافة ٥ إلى ١٠ سم من الهواء أو ١ر، مليمتر من أنسجة الجسم. لذلك فإن هذه الأشعة إذا كان مصدرها خارج الجسم فليس لها ضرر على الصحة. أمّا إذا كانت آتية من مادة مشعة داخل الجسم، أخذت عن طريق الجهاز

التنفسي أو الجهاز الهضمي من الهواء أو المأكولات والمشروبات المتلوثة بالإشعاع الناتج عن الانفجار، فإنها تسبب أضراراً كبيرة للأنسجة الداخلية التي تلامس هذه المواد المشعة.

أمّا أشعة بيتا فهي عبارة عن إلكترونات تسير بسرعة عالية قد تصل إلى سرعة الضوء ولها قدرة اختراق أعلى من أشعة ألفا. تخترق أشعة بيتا واحد إلى خمسة عشر سنتي متراً في الهواء أو واحد إلى ثلاثة سنتي مترات في أنسجة الجسم، ولها قدرة بسيطة على اختراق الأجسام الصلبة ولكنها لاتنفذ خلال طبقة من الرصاص سمكها ٢ مليمتر. ونظراً لأنها تخترق جزءاً من طبقة الجلد فإنها تسبب ضرراً شديداً في الطبقات الجلدية العليا إذا مرت بقرب الجلد. أمّا إذا دخلت هذه الأشعة للجسم عن طريق الأكل أو التنفس فإنها تسبب خطورة كبيرة.

أمّا أشعة جاما فهي عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية تسير بسرعة الضوء العادي ولاتتأثر بالمجال الكهربي أو المغناطيسي، أي أنها لاتحمل شحنة. وهي تشبه الأشعة السينية (أشعة إكس) إلّا أن طول موجتها أقصر بكثير لذا فإن طاقتها أكبر وقوة اختراقها أعظم وبذلك فإنها تحدث أضراراً بالغة في الجلد وفي داخل الجسم.

وعندما تتعرض الأجسام البشرية بصورة كبيرة إلى الإشعاعات النووية بشكل عام تؤدي إلى حروق وأمراض سرطانية مختلفة، كما تؤدي إلى اختلال بناء الجسم وإلى فقر الدم. وفي حالة تعرض الجسم لكمية عالية جداً من الإشعاع النووي فإنه يؤدي إلى الموت.

وتجدر الإشارة إلى أن الإنسان قد يصيبه الإشعاع النووي إمّا بعد الانفجار النووي مباشرة أو من الغبار النووي المتخلف عن الانفجار النووي. والغبار النووي هو مجموعات هائلة من الرقائق المشعة المختلفة الحجم والصفات منها ما مصدره مادة القنابل نفسها ومنها أتربة اكتسبت خاصية الإشعاع باندماجها في عملية التفجير واختلاطها بالإشعاعات أثناء الانفجار النووي. وتجدر الإشارة إلى أن الغبار النووي قد يبقى عالقاً في الفضاء سنوات عديدة.

(ب) القنبلة الهيدروجينية.

تعتمد فكرة القنبلة الهيدروجينية أو القنبلة النووية الحرارية على التحام نووي Nuclear Fussion للديوتيريوم (^{2}H) إحدى نظائر الهيدروجين مع التريتيوم (^{3}H) النظير الآخر للهيدروجين لتكوين ذرة هيليوم (^{4}He) وينطلق نيوترون. ويكون فرق الكتلة بين المواد المتفاعلة والنواتج في هذا التفاعل النووي حوالي ٠٫٤٪ يخرج على شكل طاقة هائلة. والقنبلة الهيدروجينية تتكون من ١٫٣٦ كيلو جرام من التريتيوم و ٠٫٩١ كيلو جرام من الديوتيريوم. ويحيط بهذا المخلوط قنبلة نووية، تستخدم الطاقة الناتجة من تفجيرها في إتحاد مكونات المخلوط لتكوين الهيليوم وانطلاق مقدار من الطاقة يعادل ماينتج من انفجار عشرين مليون طن من مادة ثلاثي نيتروتولوئين TNT. أي أن انفجار قنبلة هيدروجينية يزيد على انفجار قنبلة نووية بمائة إلى ألف مرة.

$$^{2}H + {}^{3}H \xrightarrow{\text{انفجار نووي}} {}^{4}He + {}^{1}n$$

ديوتيريوم — تريتيوم — هيليوم — نيوترون

تسمى القنبلة الهيدروجينية بالقنبلة الحرارية النووية Thermonuclear bomb لأن تفاعل التحام النوى عبارة عن تفاعلات نووية حرارية وذلك لأنها لاتبدأ إلّا إذا ارتفعت درجة حرارة المواد المتفاعلة إلى درجة حرارة عالية جداً. والذي يجعل هذا التفاعل يستمر حتى تنتهي المكونات هو أن هذه التفاعلات نفسها تفاعلات طاردة للحرارة (مولدة للطاقة) Exothermic.

(جـ) القنبلة النيوترونية.

هي عبارة عن قنبلة هيدروجينية مصغرة، إلّا أن تركيبها وتأثيرها يختلف عن القنبلة الهيدروجينية. حيث يوجد بداخلها وقود من نظائر مشعة مصنعة تعطي نيوترونات بكثافة عالية مثل نظير الكاليفورنيوم ٢٥٢ الذي يعطي ٢٫٣ × ١٠^١٢ نيوتروناً في الثانية الواحدة لكل جرام من هذا العنصر ويكون معظم مفعول القنبلة النيوترونية على شكل إشعاع نيوترونات تخترق الأجسام الحية وتؤدي إلى قتلها في الحال بينما لاتؤثر على المنشآت بشكل يذكر على عكس القنبلة الهيدروجينية التي يتمثل معظم مفعولها فيما تبعثه من حرارة وضغط يسببان الدمار للمنشآت والكائنات

الحية على السواء. هذا وتعمل النيوترونات المتحررة من جراء التفجير النووي على اختراق المواد وتحويلها إلى عناصر مشعة شديدة الخطورة على الكائنات الحية.

(د) وسائل الوقاية من الأسلحة النووية.

إن تفجير قنبلة نووية حرارية (قنبلة هيدروجينية) قوتها التدميرية تعادل مليون طن من ثلاثي نيتروتولوئين TNT على وسط مدينة يزيد عدد سكانها على مليون نسمة وتنتشر مساحتها على أكثر من خمسة أميال سيؤدي على الأقل إلى موت ٢٧٠ ألف شخص فوراً نتيجة الحرارة والضغط والانفجار كما سيصاب ٩٠ ألف شخص بجروح وحروق وموت فيما بعد نتيجة الإشعاع النووي وربما يبقى ٧١٠ الاف بدون تأثر يذكر.

يمكن تقليل الخسائر المذكورة آنفاً بإتخاذ بعض الاحتياطات الوقائية مثل اللجوء إلى الملاجيء والخنادق المغطاة والمجهزة بوسائل سحب وترشيح الهواء أثناء التعرض لهجوم نووي. كما يجب أن تحتوي هذه الملاجيء والخنادق على كميات من الأغذية والمياه تكفي للمدة الضرورية لبقاء الأشخاص فيها. أمّا إذا كان الشخص في أرض مكشوفة فأفضل مايستطيع عمله هو الإستتار بأقرب حفرة والانبطاح على الأرض مع تغطية العينين والجسم بعيداً عن اتجاه الانفجار. وفي حالة توفر أقنعة فإنه يفضل لبسها حيث أنها تقي من الأضرار الناجمة عن الغبار النووي.

هذا وتوجد بعض الأدوية مثل حبوب اليود وغيرها، التي يمكن تعاطيها لتخفيف آثار الإشعاع في داخل الجسم. وقد برز استخدام مثل هذه الأدوية في أوروبا بسبب الآثار الإشعاعية الناتجة عن انفجار المفاعل النووي السوفيتي الواقع في بلدة تشرنوبل قرب مدينة كييف السوفيتية وذلك عام ١٤٠٦هـ.

ولكن أحياناً قد لاتفيد مثل هذه الاحتياطات نظراً لكون الهجوم النووي مباغتا، وتتم الأضرار الناجمة عنه في وقت سريع جداً. إلّا أن إخلاء المنطقة بعد الهجوم النووي وتفادي التعرض للإشعاعات قد يقلل الأخطار الناتجة عن هذه الإشعاعات.

٧ ـ ٩ العناصر المشعة.

تتفتت العناصر الثقيلة الطبيعية ابتداء من عنصر البولونيوم لتعطي بشكل تلقائي أشعة ألفا وبيتا وجاما ونيوترونات وتنتج ذرات عناصر جديدة قد تكون ذات نشاط إشعاعي أيضاً وبذلك تتكرر العملية حتى تصل إلى عنصر مستقر غير مشع. فمثلاً اليورانيوم ٢٣٨ (U) يعطي إشعاع (جسيم) ألفا ويتحول بشكل تلقائي إلى الثوريوم ٢٣٤ (Th) الذي يعطي إشعاع بيتا ويتحول إلى عنصر البروتاكتينيوم ٢٣٤ (Pa). هذا الأخير يعطي جسيم بيتا ليتحول إلى يورانيوم ٢٣٤ ثم ينبعث خمس جسيمات ألفا ليعطي الرصاص المشع ٢١٤ (Pb) الذي يتحول إلى نظير الرصاص المستقر ٢٠٦. وكل عنصر مشع له نصف حياة خاصة. ونصف الحياة هي الفترة اللازمة لكي يتحلل نصف عدد ذرات العنصر المشع من خطوة إلى أخرى. فمثلاً نصف الحياة لليورانيوم ٢٣٨ هي ٤٫٤٦٨ × $١٠^{٩}$ سنة.

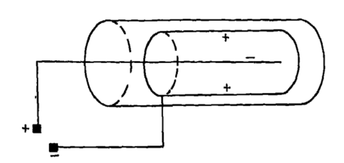
بالإضافة إلى العناصر الطبيعية المشعة فإنه يمكن تحضير عناصر مشعة صناعياً وهي نظائر لعناصر طبيعية غير مشعة لها نفس العدد الذري ولكنها تختلف في أوزانها الذرية، أي أنها تختلف في عدد النيوترونات. ويمكن تحضير مثل هذه العناصر المشعة صناعياً، بإدخال كميات من العنصر الطبيعي المطلوب في المفاعلات النووية لتتعرض لقذائف النيوترونات. فيمكن تحويل كوبالت ٥٩ غير المشع إلى النظير المشع كوبالت ٦٠ أي بزيادة نيوترون مما يجعل النواة غير مستقرة وعلى الرغم من أن العناصر المشعة الطبيعية والصناعية تساهم في التلوث الإشعاعي للبيئة وفي تكوين الغبار الذري مما يؤثر على صحة الإنسان والحيوان والنبات، إلّا أن لها استخدامات في مجال الطب. مثل استخدامها في علاج الخلايا السرطانية لقدرتها على قتل الخلايا السرطانية بصورة أسرع من السليمة، بالإضافة إلى استخداماتها الأخرى في تشخيص بعض الأمراض، وفي الزراعة، والأبحاث العلمية، هذا وتستخدم بعض المواد المشعة في الساعات التي تضيء في الظلام، وفي بعض المجوهرات، وبعض السلع الأخرى.

لذلك فلابد من أخذ الاحتياطات اللازمة عند التعامل مع المواد المشعة حيث يتم التعامل معها خلف حواجز واقية من الرصاص أو حوائط سميكة من الخرسانة المسلحة. كما أنه لابد من لبس ملابس وأقنعة واقية لمن يتعامل مع المواد المشعة.

٧ ــ ١٠ جهاز قياس الإشعاع المؤين.

مما سبق يتضح لنا مدى خطورة الأشعة المؤينة مثل أشعة ألفا وبيتا وجاما مقارنة بالأشعة غير المؤينة مثل الأشعة الصادرة عن الشمس. لذلك فلابد من قياس تركيز هذه الأشعة المؤينة في المناطق المتعرضة للإشعاع وذلك لمحاولة تفاديها.

وأفضل جهاز يستخدم لقياس تركيز الإشعاع المؤين هو عداد جيجر الموضح بالشكل ٧ ــ ٢. وهو يتركب من إسطوانة معدنية في مركزها سلك معدني. يعمل



شكل ٧ ــ ٢: جهاز قياس الاشعاع المؤين «عداد جيجر»

السلك كقطب موجب بينما تعمل الاسطوانة المعدنية كقطب سالب. يحيط بالإسطوانة المعدنية إسطوانة زجاجية تحتوي على غاز الأرجون تحت ضغط منخفض. يتصل القطبان بمصدر كهربي بحيث يكون فرق الجهد بين القطبين عالي. ويعتمد عمله على تأين الغاز الموجود بداخل الإسطوانة عند مرور إشعاع مؤين مما يؤدي إلى اتجاه الأيونات الموجبة إلى القطب السالب والأيونات السالبة إلى القطب الموجب وهذا يؤدي إلى هبوط في فرق الجهد بين هذه الأقطاب يمكن قياسه بأجهزة القياس التي توضح ذلك على شكل نبضات مضيئة أو صوتية. ويتناسب عدد هذه النبضات مع تركيز الإشعاع المؤين مما يساعد على الابتعاد عن المنطقة الملوثة بالإشعاع وأخذ التدابير والإحتياطات اللازمة.

المراجـع

أولاً : العربيــة :

١ ــ محمد جمعة، **التلوث البيئي والإشعاعي** مكتبة الخريجي، الرياض، ١٤٠٥هـ.

٢ ــ عبد العزيز شرف، **الحرب الكيميائية والبيولوجية والذرية**، القاهرة، ١٩٧٣م.

٣ ــ محمد العودات، عبد الله باصهي، **التلوث وحماية البيئة**، عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود، الرياض ١٩٨٥م.

٤ ــ محمد الحسن، **الأسلحة الكيميائية والجرثومية والنووية**، مكتبة الخريجي، الرياض ١٤٠٦هـ.

٥ ــ محمد الحسن، **الصناعات الكيميائية ومستقبلها في المملكة**، مكتبة الخريجي، الرياض ١٤٠٥هـ.

٦ ــ عبد الرزاق أبو سعده، **محاضرة عن تلوث البيئة بالعناصر الثقيلة**، الكلية المتوسطة لإعداد المعلمين بالأحساء، ١٤٠٥هـ.

٧ ــ كمال السعدي، **الحرب الإلكترونية**، المؤسسة العربية للدراسات والنشر، بيروت، ١٩٧٧م.

٨ ــ **النظافة في مدينة الرياض**، وزارة الشؤون البلدية والقروية، الرياض، المملكة العربية السعودية.

٩ ــ **التقرير السنوي الثامن لشركة سابك**، الرياض، المملكة العربية السعودية، ١٤٠٤هـ.

١٠ ــ سامي طوبيا، نظير عريان، **الكيمياء العامة وغير العضوية**، دار المعارف بمصر، القاهـرة، ١٩٦٨م.

١١ ــ رسالة من سيبابرس، **جريدة الرياض**، عدد ٦٨٥٨، الرياض، المملكة العربية السعودية، ٥ شعبان ١٤٠٧هـ.

١٢ ــ صدقة يحيى مستعجل، **الإمكانات النووية للعرب وإسرائيل**، مطبوعات تهامة، الرياض، ١٤٠٣هـ.

١٣ ـــ إبراهيم المعتاز، **خطورة تلوث الهواء من عادم محركات الاحتراق الداخلي للسيارات ووسائل تخفيفه**، الندوة الخامسة للأمن الصناعي، أبها، ٢٣ محرم ١٤٠٦هـ.

١٤ ـــ روبرت لافون، **التلوث**، ترجمة نادية القباني، شركة تراوكسيم، جنيف ١٩٧٧م.

١٥ ـــ عادل أحمد جرار، **التكنولوجيا في عالم متغير**، مكتبة النهضة الإسلامية، عمان الأردن ١٤٠١هـ.

١٦ ـــ إبراهيم المعتاز، **جريدة الرياض**، العدد ٦٤٠٢ ص ١١، ١٤٠٦/٤/٢١هـ.

١٧ ـــ إسماعيل رشيد إسماعيل، **الآثار البيئية للرصاص في الجازولين وتأثيرات إزالته على صناعة التكرير**، لقاء عمل فني لخبراء البيئة في الصناعة النفطية العربية، الكويت ١٦ ـــ ١٧ نوفمبر ١٩٨٥.

١٨ ـــ وسيمة الحوطي، **الحشرات والبيئة**، سلسلة قضايا بيئية رقم ١٦، جمعية حماية البيئة الكويتية، الكويت، محرم، ١٤٠٥هـ.

١٩ ـــ **مكافحة تلوث البيئة وعلاقتها بالتنمية**، سلسلة التقارير الفنية رقم ٧١٨، منظمة الصحة العالمية، جنيف، ١٩٨٥م.

٢٠ ـــ خالد العادل، ومولود عبد، **المبيدات الكيماوية في وقاية النبات**، كلية الزراعة، جامعة بغداد، بغداد، ١٩٧٩م.

٢١ ـــ محمد محمد إبراهيم، **التلوث الناتج عن استخدام الكيماويات الزراعية في البيئة الريفية**، وقائع الحلقة الدراسية العربية عن الظروف البيئية وعلاقتها بخطط التنمية في الدول العربية، المنظمة العربية للتربية والثقافة، الخرطوم، ٥ فبراير ١٩٧٢م.

٢٢ ـــ علي دبور، وشاكر حماد، **الآفات الحشرية والحيوانية وطرق مكافحتها في المملكة العربية السعودية**، عمادة شئون المكتبات، جامعة الملك سعود، الرياض، ١٤٠٢هـ.

٢٣ ـــ ممدوح الحسيني، **المبيدات المستعملة في مقاومة الآفات الزراعية**، كلية الزراعة، جامعة حلب.

٢٤ ـــ يوسف مصطفى الحاروني، **تحويل الماء المالح إلى ماء عذب**، دار القلم، القاهرة، ١٩٦٦م.

٢٥ ـــ محمد أمين منديل، **مقدمة عن تكنولوجيا معالجة المياه**، جامعة الملك سعود، الرياض.
٢٦ ـــ **الخطة الخمسية الرابعة**، وزارة التخطيط، الرياض.
٢٧ ـــ رنيه كولاس، **تلوث المياه**، ترجمة محمد يعقوب، منشورات عويدات، بيروت، ١٩٨١م.
٢٨ ـــ **إدارة أعمال نظافة المدن**، مدينة جدة كنموذج تطبيقي، إعداد بركات باجنيد، وجمال حمودة، أمانة مدينة جدة، ١٤٠٦هـ.
٢٩ ـــ عبد القادر كوشك، **ثروة النفايات**، الحلقة الدراسية الثانية، المؤتمر العام الرابع بمنظمة العواصم والمدن الإسلامية، القاهرة، ١٧ ـــ ٢٢ محرم، ١٤٠٧م.

ثانيـاً : الأجنبيــة :

1 - Colin Walker, Enviromental Pollution by Chemicals, Hutchinson & Co. Ltd, London, 1975.

2 - Prestt, I., Jefferies, D.J. and Moore, N. W., Enviromental Pollution 1, 3, 1970.

3 - Klein, L., River Pollution, Butterworth, 1966.

4 - Laurent, H., Enviromental Pollution, Rinehart and Winston, NY., 1977

5 - Morton, S.D., Water Pollution - Causes and Cures, Mimir Publisher Inc., Wisconsin, USA, 1976.

6 - Our Industry Petroleum, British Petroleum Company Limited, London, 1977.

7 - Summary Technical Reports of the National Defence. Research Committee, Chemical Warfare, Current Classification, USA, 1960.

8 - The Merck Index, Merck & Co., Inc., N. J., USA, 1976.

9 - Ember. L.R., Chem. Eng. News, 34 Aug 23, 1982.

10 - Chanlett. E.T., Enviromental Protection, McGrow - Hill, Kogakusha, Ltd., Tokyo, 1979.

11 - Haney, P.O., Theoretical Principles of Aeration, JAWWA 46, 353, 1954.

12 - Faust, S.D., and Osman, M.A., Chemistry of Water Treatment, Ann Arbor Science, Michigan, 1983.

13 - Wark, K.and Warner, C.F., Air Pollution, 2nd ed., Harper & Row Pub., New York, 1981.

14 - Patterson, D.J. and Henein, N.A., Emission from Combustion Engines and Their Control, Ann Arbor Science Pub., Michigan, 1972.

15 - Al-Mutaz,I., Automotive Emission Problem in Saudi Arabia, Accepted for publication in Environment International Journal.

16 - Lead Level in Air and in School Children Blood, Saudi Arabia MEPA, Jeddah, April, 1985.

17 - Al-Mutaz, I., A Simple Technique for Optimizing Automobile Engine Operation to Reduce Emission and Maintain Efficiency, Submitted for Publication.

18 - The Resource Base for Industrialization in the Member States of Co-operation Council of the Arab States of the Gulf, The cooperation council of the Arab States of the Gulf, Secretarial General, Riyadh, 1985.

19 - Liberti, L., and et al, Technological and Economic Trends of Sea Water Desalting in the 90's, Second World Congress on Desalination and Water Reuse, Bermuda, 1985.

20 - Khan, A. H., Desalination Processes and Multistage Flash Distrillation Practice, Elsevier, Amsterdam, 1986.

21 - The USAID Desalination Manual, CH2M Hill Internatinal, Florida, USA. 1980.

22 - Howe, E. D., Fundamentals of Water Desalination, Marcel Dekker Inc., New York, 1974.

23 - Water Treatment Handbook, Fifth Ed., John Wiley, New York, 1979.

الجـــدول

* العناصر التي تقع على يمين الخط السميك تصف على أنها لا معادن، والتي تقع على اليسار تصف على أنها معادن

	١ب	٢ب	٣أ	٤أ	٥أ	٦أ	٧أ	٨أ
								هيليوم ٢ He — — ٤٫٠
			بورون ٥ B ٢٫٠٤ ٣ ١٠٫٨	كربون ٦ C ٢٫٥٥ ٤،٢ ١٢٫٠١	نيتروجين ٧ N ٣٫٠٤ ٥،٤،٣،٢ ١٤٫٠١	أكسجين ٨ O ٣٫٤٤ ٢ ١٦٫٠	فلور ٩ F ٣٫٩٨ ١ ١٩٫٠	نيون ١٠ Ne — — ٢٠٫٢
			ألومنيوم ١٣ Al ١٫٦١ ٣ ٢٦٫٩٨	سيليكون ١٤ Si ١٫٩٠ ٤ ٢٨٫١	فوسفور ١٥ P ٢٫١٩ ٥،٤،٣ ٣١٫٠	كبريت ١٦ S ٢٫٥٨ ٦،٤،٢ ٣٢٫١	كلور ١٧ Cl ٣٫١٦ ٧،٥،٣،١ ٣٥٫٥	أرجون ١٨ Ar — — ٣٩٫٩٥
نيكل ٢٨ Ni ١٫٩١ ٣،٢ ٥٨٫٧	نحاس ٢٩ Cu ١٫٩٠ ٢،١ ٦٣٫٥	خارصين ٣٠ Zn ١٫٦٥ ٢ ٦٥٫٤	جاليوم ٣١ Ga ١٫٨١ ٣ ٦٩٫٧	جرمانيوم ٣٢ Ge ٢٫٠١ ٤ ٧٢٫٦	زرنيخ ٣٣ As ٢٫١٨ ٥،٣ ٧٤٫٩٢	سلينيوم ٣٤ Se ٢٫٥٥ ٦،٤،٢ ٧٩٫٠	بروم ٣٥ Br ٢٫٩٦ ٥،١ ٧٩٫٩	كريبتون ٣٦ Kr — — ٨٣٫٨
بلاديوم ٤٦ Pd ٢٫٢٠ ٤،٢ ١٠٦٫٤	فضة ٤٧ Ag ١٫٩٣ ١ ١٠٧٫٩	كادميوم ٤٨ Cd ١٫٦٩ ٢ ١١٢٫٤	إنديوم ٤٩ In ١٫٧٨ ٣ ١١٤٫٨	قصدير ٥٠ Sn ١٫٩٦ ٤،٢ ١١٨٫٧	أنتيمون ٥١ Sb ٢٫٠٥ ٥،٣ ١٢١٫٧٥	تيلوريوم ٥٢ Te ٢٫١ ٦،٤،٢ ١٢٧٫٦	يود ٥٣ I ٢٫٦٦ ٧،٥،١ ١٢٦٫٩	زينون ٥٤ Xe — — ١٣١٫٣
بلاتين ٧٨ Pt ٢٫٢٨ ٤،٢ ١٩٥٫١	ذهب ٧٩ Au ٢٫٥٤ ٣،١ ١٩٧٫٠	زئبق ٨٠ Hg ٢٫٠٠ ٢،١ ٢٠٠٫٦	ثاليوم ٨١ Tl ٢٫٠٤ ٣،١ ٢٠٤٫٤	رصاص ٨٢ Pb ٢٫٣٣ ٤،٢ ٢٠٧٫٢	بزموث ٨٣ Bi ٢٫٠٢ ٥،٣ ٢٠٩٫٠	بولونيوم ٨٤ Po ٢٫٠ ٤،٢ (٢٠٩)	استاتين ٨٥ At ٢٫٢ ٧،٥،٣،١ (٢١٠)	رادون ٨٦ Rn — — (٢٢٢)
١١٠	١١١	١١٢						

جادولينيوم ٦٤ Gd ١٫٢٠ ٣ ١٥٧٫٣	تربيوم ٦٥ Tb ١٫٢ ٤،٣ ١٥٨٫٩	دسبروزيوم ٦٦ Dy ١٫٢٢ ٣ ١٦٢٫٥	هولميوم ٦٧ Ho ١٫٢٣ ٣ ١٦٤٫٩	اربيوم ٦٨ Er ١٫٢٤ ٣ ١٦٧٫٣	ثوليوم ٦٩ Tm ١٫٢٥ ٣،٢ ١٦٨٫٩	يتربيوم ٧٠ Yb ١٫١ ٣،٢ ١٧٣٫٠	لوتيتيوم ٧١ Lu ١٫٢٧ ٣ ١٧٥٫٠
كوريوم ٩٦ Cm ١٫٣ ٣ (٢٤٧)	بركليوم ٩٧ Bk ١٫٣ ٤،٣ (٢٤٧)	كاليفورنيوم ٩٨ Cf ١٫٣ ٣ (٢٥١)	اينشتاينيوم ٩٩ Es ١٫٣ — (٢٥٤)	فرميوم ١٠٠ Fm ١٫٣ — (٢٥٧)	مندليفيوم ١٠١ Md ١٫٣ — (٢٥٨)	نوبليوم ١٠٢ No ١٫٣ — (٢٥٩)	لورنسيوم ١٠٣ Lr — — (٢٦٠)

الـــدورى للعنـــاصر

*٭ الأرقام التي بين قوسين تشير إلى الوزن الذري للنظير الأكثر استقراراً من العناصر المشعة.

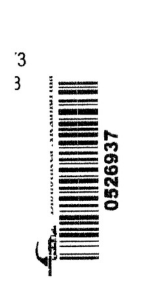
كربون ٦ C ٢٫٥٥ ٤،٢ ١٢٫٠١	
كربون	اسم العنصر
٦	العدد الذري
C	رمز العنصر
٢٫٥٥	السالبية الكهربية
٤،٢	التكافؤ
١٢٫٠١	الوزن الذري

العناصر الانتقالية

دورة / مجموعة	١أ	٢أ	٣ب	٤ب	٥ب	٦ب	٧ب		٨ب
١	هيدروجين ١ H ٢٫٢٠ ١ ١٫٠٠٨								
٢	ليثيوم ٣ Li ٠٫٩٨ ١ ٦٫٩٤	بريليوم ٤ Be ١٫٥٧ ٢ ٩٫٠١							
٣	صوديوم ١١ Na ٠٫٩٣ ١ ٢٣٫٠	مجنيسيوم ١٢ Mg ١٫٣١ ٢ ٢٤٫٣							
٤	بوتاسيوم ١٩ K ٠٫٨٢ ١ ٣٩٫١	كالسيوم ٢٠ Ca ١٫٠٠ ٢ ٤٠٫١	سكانديوم ٢١ Sc ١٫٣٦ ٣ ٤٥٫٠	تيتانيوم ٢٢ Ti ١٫٥٤ ٤،٣ ٤٧٫٩	فانديوم ٢٣ V ١٫٦٣ ٥،٤،٣،٢ ٥٠٫٩	كروم ٢٤ Cr ١٫٦٦ ٦،٣،٢ ٥٢٫٠	منجنيز ٢٥ Mn ١٫٥٥ ٧،٦،٤،٣،٢ ٥٤٫٩	حديد ٢٦ Fe ١٫٨٣ ٣،٢ ٥٥٫٨	كوبالت ٢٧ Co ١٫٨٨ ٣،٢ ٥٨٫٩
٥	روبيديوم ٣٧ Rb ٠٫٨٢ ١ ٨٥٫٥	سترونشيوم ٣٨ Sr ٠٫٩٥ ٢ ٨٧٫٦	يتريوم ٣٩ Y ١٫٢٢ ٣ ٨٨٫٩	زركونيوم ٤٠ Zr ١٫٣٣ ٤ ٩١٫٢	نيوبيوم ٤١ Nb ١٫٦ ٥،٣ ٩٢٫٩	موليبدن ٤٢ Mo ٢٫١٦ ٦،٥،٤،٣،٢ ٩٥٫٩	تكنيتيوم ٤٣ Tc ١٫٩ ٧ (٩٨)	روثينيوم ٤٤ Ru ٢٫٢ ٨،٦،٤،٣،٢ ١٠١٫١	روديوم ٤٥ Rh ٢٫٢٨ ٤،٣،٢ ١٠٢٫٩
٦	سيزيوم ٥٥ Cs ٠٫٧٩ ١ ١٣٢٫٩	باريوم ٥٦ Ba ٠٫٨٩ ٢ ١٣٧٫٣٣	لانثانوم ٥٧ La ١٫١٠ ٣ ١٣٨٫٩	هافنيوم ٧٢ Hf ١٫٣ ٤ ١٧٨٫٥	تانتالم ٧٣ Ta ١٫٥ ٥ ١٨٠٫٩	تنجستن ٧٤ W ٢٫٣٦ ٦،٥،٤،٣،٢ ١٨٣٫٩	رينيوم ٧٥ Re ١٫٩ ٧،٦،٤،٢،١ ١٨٦٫٢	أوزميوم ٧٦ Os ٢٫٢ ٨،٦،٤،٣،٢ ١٩٠٫٢	إريديوم ٧٧ Ir ٢٫٢٠ ٦،٤،٣،٢ ١٩٢٫٢
٧	فرانشيوم ٨٧ Fr ٠٫٧ ١ (٢٢٣)	راديوم ٨٨ Ra ٠٫٩ ٢ ٢٢٦	أكتينيوم ٨٩ Ac ١٫١ ٣ ٢٢٧	يونيلكوديوم ١٠٤ Unq — — (٢٦١)	يونيلبنتيوم ١٠٥ Unp — — (٢٦٢)	يونيلهكسيوم ١٠٦ Unh — — (٢٦٣)	١٠٧	١٠٨	١٠٩

٦ اللانثانيدات	سيريوم ٥٨ Ce ١٫١٢ ٤،٣ ١٤٠٫١	براسيوديميوم ٥٩ Pr ١٫١٣ ٤،٣ ١٤٠٫٩	نيوديميوم ٦٠ Nd ١٫١٤ ٣ ١٤٤٫٢	بروميثيوم ٦١ Pm ١٫١٣ ٣ (١٤٥)	ساماريوم ٦٢ Sm ١٫١٧ ٣،٢ ١٥٠٫٤	يوروبيوم ٦٣ Eu ١٫٢ ٣،٢ ١٥٢٫٠
٧ الاكتينيدات	ثوريوم ٩٠ Th ١٫٣ ٤ ٢٣٢٫٠	بروتكتينيوم ٩١ Pa ١٫٥ ٥،٤ ٢٣١	يورانيوم ٩٢ U ١٫٣٨ ٦،٥،٤،٣ ٢٣٨٫٠	نبتونيوم ٩٣ Np ١٫٣٦ ٦،٥،٤،٣ ٢٣٧	بلوتونيوم ٩٤ Pu ١٫٢٨ ٦،٥،٤،٣ (٢٤٤)	امريكيوم ٩٥ Am ١٫٣ ٦،٥،٤،٣ (٢٤٣)


مطابع الفرزدق التجارية - الرياض
المعذر ٤٨٢٤٩٨٣ / ٤٨٢٤٨٦٥


05526937